AUS DER UNIVERSITÄTS-AUGENKLINIK, BASEL
(DIREKTOR PROF. DR. *A. BRÜCKNER*)

UEBER DAS VERHALTEN DER MONOKULAREN UND BINOKULAREN REIZSCHWELLE WÄHREND DER DUNKELADAPTATION DES TAGES — UND DÄMMERUNGSAPPARATES

INAUGURAL-DISSERTATION ZUR ERLANGUNG
DER DOKTORWÜRDE DER MEDIZINISCHEN
FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT BASEL

VORGELEGT VON

GERHARD SCHUMACHER
AUS BERLIN

LEVIN & MUNKSGAARD PUBLISHERS
NØRREGADE 6 • COPENHAGEN
1937

UEBER DAS VERHALTEN DER MONOKULAREN UND BINOKULAREN REIZSCHWELLE WÄHREND DER DUNKELADAPTATION DES TAGES — UND DÄMMERUNGSAPPARATES

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546702_0118

AUS DER UNIVERSITÄTS-AUGENKLINIK, BASEL
(DIREKTOR PROF. DR. *A. BRÜCKNER*)

UEBER DAS VERHALTEN DER MONOKULAREN UND BINOKULAREN REIZSCHWELLE WÄHREND DER DUNKELADAPTATION DES TAGES — UND DÄMMERUNGSAPPARATES

INAUGURAL-DISSERTATION ZUR ERLANGUNG
DER DOKTORWÜRDE DER MEDIZINISCHEN
FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT BASEL

VORGELEGT VON

GERHARD SCHUMACHER
AUS BERLIN

LEVIN & MUNKSGAARD PUBLISHERS
NØRREGADE 6 - COPENHAGEN
1937

Von der medizinischen Fakultät Basel genehmigt auf Antrag von Professor Dr. A. Brückner.

Tag der Promotion: 23. Juni 1936.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderdruck aus den Acta Ophthalmologica, Band XV.

S. ROHR
BOGTRYKKERI

Ueber die Frage der Summation binokularer Schwellenwerte im Verlaufe der Dunkeladaptation ist seit den ersten grundlegenden Versuchen von *Piper* vor ca. 30 Jahren von zahlreichen Forschern gearbeitet worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen fielen recht widerspruchsvoll aus, indem die einen eine eindeutige Summation festzustellen glaubten, andere dagegen die binokulare Schwelle ebenso hoch fanden wie die monokulare. Bis in die jüngste Zeit herein ist es noch nicht gelungen, das Problem restlos abzuklären, da auch heute noch trotz vielfach verfeinerter Untersuchungsmethoden widersprechende Resultate gefunden werden.

Dieser Widerspruch der Ergebnisse kann teilweise darauf zurückgeführt werden, dass nicht immer zwischen der Adaptation des Tagesapparates und des Dämmerungsapparates scharf genug unterschieden worden ist. Wir wissen heute durch zahlreiche Arbeiten, dass Tagesapparat und Dämmerungsapparat bei der Anpassung an verschiedene Beleuchtungsgrade ihre Empfindlichkeit in verschiedener Art und Weise regulieren. Es lag nahe, auf Grund dieser Kenntnisse das Verhalten der binokularen Schwelle gegenüber der monokularen für den Tagesapparat und den Dämmerungsapparat getrennt zu untersuchen, um dadurch etwas zur Klärung des ganzen Fragenkomplexes beizutragen. Auf Anregung von Herrn Priv.-Doz. Dr. *H. K. Müller* untersuchte ich daher das Problem der binokularen Summation, von diesem Gesichtspunkte ausgehend.

Ehe auf die eigenen Untersuchungen und deren Resultate näher eingegangen wird, soll ein möglichst vollständiger kurzer Ueberblick der mir zugänglichen diesbezüglichen Literatur gegeben werden. Es ist dies notwendig, um einigermassen Klarheit über den Stand unserer Kenntnisse in dieser Frage zu erhalten.

Bei der Bearbeitung des Schrifttums ist es nicht immer möglich, kritisch zu den einzelnen Arbeiten Stellung zu nehmen, da zum Teil derart verschiedene Methoden zur Untersuchung herangezogen wurden, dass ein Vergleich der einzelnen Ergebnisse nicht statthaft erscheint. Um jedoch den Ueberblick über die Literatur möglichst übersichtlich zu gestalten, wird sie im folgenden nach dem Gesichtspunkt abgehandelt, ob jeweils die Erscheinungen der Summation während der Adaptation des Tagesapparates oder des Dämmerungsapparates untersucht wurden. Dies lässt sich natürlich nur in beschränktem Masse durchführen, da die meisten Arbeiten aus einer Zeit stammen, in der das verschiedene Verhalten dieser beiden Apparate im Verlauf der Dunkeladaptation noch nicht in vollem Umfange berücksichtigt werden konnte.

Unter Adaptation des »Tagesapparates« bezw. des »Dämmerungsapparates« wird entsprechend der Duplizitätstheorie die Anpassungsfähigkeit des mit den Zapfen bezw. den Stäbchen der Netzhaut verbundenen Sehapparates verstanden. Ueber die Dunkeladaptation des Tagesapparates erhält man nach den Untersuchungen von *Nagel* u. *Schäfer* (44), *Dittler* u. *Koike* (13), *Tamura* (60), vom *Hofe* (27), sowie vor allem von *Kohlrausch* (30) auf folgende Weise Aufschluss:

1. Bei rein fovealer Reizung mit beliebig farbigem Reizlicht.
2. Bei Reizung beliebiger Netzhautpartien mit dämmerwertfreiem roten Reizlicht.
3. Bei Reizung mit Lichtern aller Qualitäten kurze Zeit nach genügend starker Vorbelichtung. Die Zeit, innerhalb derer unter den letztgenannten Bedingungen der Tagesapparat allein erfasst wird, ist abhängig von der Dauer, der Intensität und der Strahlenzusammensetzung der Vorbelichtung u. a. (s. *F. Best* (6), *Lohmann* (33), *Gasteiger* (20), *Kohlrausch* (30), *H. K. Müller* (41) u. a.).

Zu Punkt 3. ist zu sagen, dass gerade in der älteren Literatur wohl meist angenommen wurde, dass in den ersten Minuten nach dem Uebergang vom Hellen ins Dunkle der Tagesapparat der Träger der Funktion ist. Die Grenze gegenüber dem Inkrafttreten des Dämmerungsapparates konnte dabei aber nicht

genau festgelegt werden. Meist unterschied man deshalb nur zwischen einem Adaptationszustand am Anfange und einem solchen gegen Ende der Dunkelanpassung. Da die Versuchsbedingungen verschiedener Autoren (besonders bezüglich der absoluten Stärke der Vorbelichtung) nicht konstant gehalten waren, war es auch nicht möglich, festzustellen, inwieweit der Tagesapparat überhaupt untersucht wurde.

Eine sichere Untersuchung des *Dämmerungs*apparates liegt wohl immer unter folgenden Bedingungen vor:

1. Bei Reizung mit farbigen Lichtern, die einen Dämmerwert besitzen, wenn sie im Augenblick der Messung farblos über die Schwelle treten.
2. Bei Verwendung von »weissem« Reizlicht gegen Ende der Dunkelanpassung.

Diese Definitionen mussten gegeben werden, um alle Missverständnisse auf diesem ohnehin so umstrittenen Gebiet zu vermeiden.

FRÜHERE UNTERSUCHUNGEN

Die ersten Forscher, die sich mit dem Studium des Adaptationsverlaufes überhaupt beschäftigten, waren bekanntlich *Aubert* (3), *Charpentier* (10) und *Treitel* (63). Da ihren Untersuchungen naturgemäss noch viele Mängel anhafteten, ist ein Vergleich ihrer Resultate mit heutigen Untersuchungsergebnissen nicht mehr angängig. Immerhin mag erwähnt werden, dass *Treitel* (63) als erster eine summationsähnliche Erscheinung mit folgenden Worten beschreibt: »Schliesslich möchte ich anführen, dass ein nichtadaptiertes Auge das zweite im Sehen unterstützt, gleichviel ob das Letztere nicht adaptiert ist oder ob es adaptiert ist. Die binokulare Sehkraft stellt sich in beiden Fällen grösser als die monokulare«. — Ferner fand er, wie auch *Aubert*, eine Abhängigkeit der Schwellenreiz-Lichtstärke von der Winkelgrösse des Reizfeldes und weiterhin, dass die Adaptation beider Augen ganz unabhängig voneinander verläuft. Hieraus zieht er den Schluss, dass die Adaptation peripher, »wahrscheinlich in der Netzhaut« vor sich gehe. —

Der erste, der auch im heutigen Sinne exakte Untersuchungen über den Verlauf der Dunkeladaptation anstellte, war *Piper* (46). Dabei beschäftigte er sich auch ausführlich mit dem Problem der binokularen Summation. Stellte er zunächst den binokularen und gleich daran anschliessend den monokularen Schwellenwert fest, so fand er, dass die binokulare Schwelle ungefähr halb so hoch liegt wie die monokulare. Zu demselben Ergebnis kam er, wenn er die binokulare und die monokulare Schwellengrösse in getrennten Sitzungen bestimmte. Auf Grund dieser Untersuchungen, bei denen er sogar den möglichen Einfluss der Pupillenweite auf die Resultate berücksichtigte, sprach er als Erster von einer *Reizaddition* oder *-Summation* bei binokularer Beobachtung. Dies bildete den Ausgangspunkt aller späteren Untersuchungen in dieser Frage.

Später (1907) vervollständigte *Piper* (49) seine Untersuchungsmethodik, indem er das von ihm inzwischen konstruierte und nach ihm benannte Adaptometer zu den Messungen verwandte. Auch jetzt ergaben sich ihm dieselben Verhältnisse bezüglich der Summation. Stellte er einen binokularen Schwellenreiz ein, so sah er ihn nicht mehr, wenn er ihn monokular betrachtete, und umgekehrt vermochte er binokular einen monokularen Schwellenreiz überschwellig zu sehen.

In einer weiteren Arbeit richtete Piper (47) seine Versuchsanordnung so ein, dass er von zwei gleichartigen Reizlichtern das eine binokular, das andere monokular beobachten konnte. Dabei fand er, dass für das monokular gesehene Reizlicht eine 1,6 bis 1,7 fache Intensität notwendig war, um denselben Helligkeitseindruck zu erzielen, der sich bei Betrachtung des binokular gesehenen Reizlichtes ergab.

Im Anschluss an diese Untersuchungen und die sich ihm daraus ergebenen Resultate warf *Piper* die wichtige Frage auf, ob das ausschliessliche Vorhandensein der Summation im Dämmerungsapparat zurückzuführen sei auf vollständig getrennte Bahnen für die Helladaptation (d. h. den Tagesapparat) und die Dunkeladaptation (d. h. den Dämmerungsapparat) oder auf eine Umschaltung der beiden Apparaten gemeinsamen Bahnen, wodurch der eine Modus in den anderen übergeführt würde. Er hielt es für möglich, dass die Summation im Dämmerungsapparat auf ähnlichen Vorgängen beruhe, wie die schon

von *Aubert* und *Treitel* beobachtete Abhängigkeit des Reizwertes eines Objektes von seiner Flächengrösse.

Diese Beziehungen zwischen Flächengrösse und Lichtintensität bezüglich des Reizwertes eines Objektes untersuchte *Piper* (48) ebenfalls. Während *Ricco* (51) für die Fovea gefunden hatte, dass Flächengrösse und Lichtintensität des Reizobjektes sich umgekehrt proportional verhalten, beobachtete *Piper*, dass für die dunkeladaptierte Netzhautperipherie die *Wurzel* aus der Flächengrösse umgekehrt proportional der Lichtintensität ist; für die helladaptierte Netzhaut fand er dagegen kein derartiges Verhältnis. Er folgert daraus: » . . . dass die lichtperzipierenden Elemente des Hell- und Dunkelauges auf verschiedene Art miteinander verknüpft sind, derart, dass in einem Falle durch Addition der benachbarte Elemente treffenden Einzelreize eine Verstärkung der Helligkeitsempfindung in die Wege geleitet werden kann, dass dieses aber im anderen Fall kaum oder garnicht erfolgt«. Aus seiner Beobachtung, dass die Adaptation in jedem Auge sich unabhängig vom Adaptationszustand des anderen Auges vollzieht, schloss auch er, wie *Treitel*, dass die Adaptation peripher, »also wahrscheinlich in der Netzhaut« ihren Sitz hat.

Schliesslich sei noch erwähnt, dass *Piper* (49) eine Arbeit von *Streiff* (59) als seine Anschauungen unterstützend anführt, worin dieser zum Ergebnis kommt, dass »beide Augen sich in der Helligkeitswahrnehmung in der Netzhautperipherie in beträchtlichem Masse unterstützen, sehr wenig dagegen bei direktem Sehen«.

Weitere Untersuchungen über die Summation, die vorwiegend den Dämmerungsapparat betreffen.

Von älteren Arbeiten, in denen das Vorhandensein einer binokularen Summation *bestätigt* wird, sind folgende zu besprechen.

Feilchenfeld und *Loeser* (16) untersuchten 1905 in Zusammenhang mit anderen Fragen des monokularen und binokularen Sehens (Fechnersches Phänomen) auch die Verhältnisse der Summation. Sie benutzten dazu die von *Piper* angegebene Apparatur unter Vorschaltung einer Vorrichtung, die ein für jedes Auge getrenntes Beobachten zweier Reizflächen ermöglichte.

Die mitgeteilten Werte der Blendenöffnungen beziehen sich auf Messungen an einer Versuchsperson. Nach Helladaptation (5 Minuten Blick auf ein erhelltes weisses Laken) fanden sie überhaupt keine Summation, dagegen eindeutig nach zweistündiger, weniger deutlich nach einstündiger Dunkeladaptation. Sie formulieren ihre Ergebnisse folgendermassen: »Während bei Helladaptation eine Differenz zwischen binokularer und monokularer Helligkeitsempfindung durch Schwellenbestimmungen nicht nachweisbar ist, beträgt die Helligkeitsempfindung des Dunkelapparates bei binokularer Beobachtung das Doppelte, wie bei monokularer«.

Heinrichsdorff (25) streift bei einer Untersuchung über Adaptationsstörungen bei Hemeralopen auch die Frage der binokularen Summation. Er bediente sich der *Piper*'schen Apparatur mit einem Reizfeld von 18° Winkelgrösse. Die vorangehende Helladaptation wurde durch gewöhnliches Tageslicht erzielt. Die Schwellenbestimmung nahm er »von Zeit zu Zeit« vor. Er fand, auch in pathologischen Fällen, unter der Bedingung, dass beide Augen gleich empfindlich waren, deutliche binokulare Summation, während *keine* Summation auftrat, wenn ein Auge weniger lichtempfindlich war als das andere. *Heinrichsdorff* erklärte dies nach Art des *Fechner*'schen paradoxen Versuches. Seine Befunde belegt er in seiner Arbeit mit einer Kurve, aus der eine binokulare Summation von der 15. Minute der Dunkeladaptation ab erkennbar ist. Ob sie schon vorher vorhanden war, lässt sich daraus nicht ersehen, da *Heinrichsdorff* ebenso wie *Piper* den Adaptationsverlauf durch die reziproken Werte der Schwellenreiz-Lichtstärken, die sogenannten »Empfindlichkeitswerte«, wiedergibt. Diese Art der Kurvenaufzeichnung gibt aber keinen genauen Aufschluss über die Verhältnisse in den ersten Minuten.

Auch *Lohmann* (34), der mit dem *Nagel*'schen Adaptometer arbeitete, fand in seinen Untersuchungen der Adaptation bei verschiedenen Augenhintergrundserkrankungen eine binokulare Summation. In besonderem Masse schien ihm diese bei Schielenden aufzutreten. Dies veranlasste ihn zu der Anschauung, dass nur bei Belichtung *nicht* identischer Netzhautstellen eine Summationswirkung zustande kommt. Beim Normalen käme es durch unsichere Fixation der schwellennahen Reizobjekte eben-

falls zu einer solchen Reizung nicht identischer Netzhautpartien. — Da der Arbeit keine Kurven und Tabellen beigegeben sind, ist es nicht möglich, die von ihm gefundenem Resultate einer kritischen Betrachtung zu unterziehen. Auch in späteren »kritischen Studien« fehlen nähere Angaben. *Lohmann* (35) ergänzt darin das von ihm über Summation Gesagte dahingehend, dass nach seinen Erfahrungen die binokulare Summation in allen Stadien des Adaptationsverlaufes zu finden sei, auch im Beginn. Jedoch sei die Summation anfangs geringer als später (1,25 bis 1,3 gegenüber 1,5 des monokularen Wertes).

Bezugnehmend auf die erstgenannte Arbeit von *Lohmann* (34) berichtet *Horn* (28) über Adaptationsuntersuchungen ebenfalls bei Augenhintergrundserkrankungen. Nach einer halbstündigen Vorbelichtung im Freien untersuchte er am *Nagel*'schen Adaptometer bei Verwendung der Verschwindungsschwelle u. a. die Verhältnisse der Summation an zwei Patienten. Einer von diesen litt an Strabismus convergens, der andere an »nicht unerheblichem dynamischem Convergenzschielen«. In beiden Fällen beobachtete er eine starke binokulare Reizsummation, die er allerdings nur in der 50. und 60. Minute untersuchte, und führt diese Ergebnisse zur Bestätigung der *Lohmann*'schen Auffassung an.

Eine grössere Anzahl von diesbezüglichen Untersuchungen machte *Messmer* (37). Er führte sie mit dem *Nagel*'schen Adaptometer aus, nachdem die Versuchspersonen sich im Freien hell adaptiert hatten. Alle zwei bis fünf Minuten wurde eine Schwellenbestimmung gemacht und zwar zuerst monokular, eine Minute später dann binokular. *Messmers* Untersuchungen erstrecken sich auf 8 Versuchspersonen mit normalen Augen, 7 Personen mit chronischer und 2 mit akuter Hemeralopie. In allen diesen Fällen zeigt sich an Hand der in extenso mitgeteilten Tabellen eine Summation, die oft erst nach 12 bis 14 Minuten deutlich einsetzt. Obwohl auch *Messmer* seine Kurven nach »Empfindlichkeitswerten« zeichnete, bringt er in seinen Tabellen die am Adaptometer abgelesenen Skalenteile, sodass seine Resultate einem Vergleich mit neueren Arbeiten leicht zugänglich sind. Allerdings sind seine Ergebnisse nicht ohne weiteres als beweiskräftig anzusehen, da zwischen den monokularen und binokularen Bestimmungen zu grosse, nicht

berücksichtigte Zeitabstände lagen. Ein solcher Fehler macht sich besonders in den ersten Messungen bemerkbar, solange die Schwellenwerte noch rasch kleiner werden. Dadurch kann eine binokulare Summation vorgetäuscht werden. Für die Werte jenseits ungefähr der 40. Minute spielen diese Zeitunterschiede wohl keine grosse Rolle mehr.

Auch *Stargardt* (57) berücksichtigte bei den von ihm angestellten Untersuchungen über den Verlauf der Dunkeladaptation, die er mit dem *Piper*'schen Adaptometer ausführte, die Frage der binokularen Summation. Er machte die entsprechenden Messungen 45 Minuten nach Beginn des Dunkelaufenthaltes, indem er die Erscheinungsschwelle bestimmte. Die vorangehende Helladaptation wurde durch einen ungefähr halbstündigen Aufenthalt im Freien erzielt. In den meisten Fällen, auch in pathologischen, fand er eine bisweilen das Doppelte der monokularen Werte erreichende Reizaddition. Die mitgeteilten Zahlenresultate von 11 Untersuchungen zeigen in 2 Fällen die binokulare Schwelle gleich der des besseren Auges. Alle anderen weisen eine deutliche binokulare Summation auf, die *Stargardt* auch »in zahllosen Fällen aus anderen Krankheitsgruppen« fand. Im Gegensatz zu *Lohmann* konnte er keine besonders starke Summation an Schielenden feststellen. Ferner sah er im Widerspruch zu *Heinrichsdorff* eine deutliche Summation auch dann eintreten, wenn ein beträchtlicher Empfindlichkeitsunterschied beider Augen vorlag.

Weiterhin wurde von *Stargardt* u. a. eine Zunahme des Reizwertes eines Objektes durch Vergrösserung des Reizwinkels beobachtet, aber in geringerem Grade, als es der von *Piper* angegebenen Proportionalität entsprechen würde.

Behr (4) untersuchte mit Hilfe des *Piper*'schen Adaptometers und eines von ihm damit kombinierten Perimeters die monokulare und binokulare Reizschwelle zweier ungefähr korrespondierender peripherer Netzhautstellen nach 45 Minuten Dunkeladaptation. Ueber seine Ergebnisse sagt er: »Wenn ich dabei auch nicht eine Steigerung der Empfindlichkeit um das Doppelte bei binokularer gegenüber der monokularen Untersuchung feststellen konnte, wie *Piper*, so waren die Differenzen in vielen Fällen immerhin so grosse, dass ich das Gesetz der binokularen Reizaddition bei der Dunkeladaptation im Allgemeinen bestä-

tigen kann«. Seiner Auffassung nach beruht diese Erscheinung auf einem »physiologischen Vorgang der Summierung der einzelnen von jedem Netzhautpunkt zentral geleiteten Reize«. *Behr* gibt keine näheren Daten dieser Versuche an. Auffallend ist, dass in den von ihm ausführlich mitgeteilten *klinischen* Untersuchungen, soweit vergleichbare monokulare und binokulare Werte angeführt sind (dies ist bei 13 Opticusstammerkrankungen der Fall), die binokulare Schwelle immer gleich ist der des besseren Auges.

Ausgedehnte Untersuchungen über die Verhältnisse des binokularen und monokularen Sehens stellten *Roelofs* und *Zeeman* (52) an. Zunächst prüften sie die von *Piper* angestellten Versuche über den Helligkeitsunterschied zwischen binokularer und monokularer Betrachtung eines Objektes mit der von *Piper* benutzten Methode nach und fanden wie dieser, dass monokular eine 1,7 fache, bei überschwelligen Reizen sogar eine 2,1 fache Lichtstärke notwendig war, um den gleichen Helligkeitseindruck wie binokular zu erzielen. Nach zahlreichen weiteren Experimenten kamen sie zu dem Schluss, dass diese so festgestellte Summation durch verschiedenartige Adaptationszustände beider Augen vorgetäuscht sei.

Ferner interessierte es *Roelofs* u. *Zeemann* besonders, ob in den ersten Minuten der Dunkeladaptation andere Verhältnisse bezüglich der Summation gefunden werden als später. Sie führten ihre Schwellenbestimmungen nach 45 Minuten Vorbelichtung an einer grösseren, beleuchteten Fläche aus, indem sie die Verschwindungsschwelle alle 3 Minuten bis zur 45. bis 60. Minute massen. Als Reizlicht diente ihnen eine durch eine Nernstlampe erleuchtete Milchglasplatte im Durchmesser von 8 mal 8 cm, die aus einem Abstand von 30 cm betrachtet wurde. Die Bestimmungen (2 monokulare und eine binokulare) wurden an nur einer Versuchsperson in 3 verschiedenen Sitzungen gemacht. Als Ergebnis fanden *Roelofs* u. *Zeeman* im Gegensatz zu *Piper* keinen Unterschied zwischen helladaptiertem und dunkeladaptiertem Auge, sondern sowohl im Beginn als auch im späteren Verlauf die binokulare Schwelle immer niedriger als die monokulare. Dies ist auch aus ihren Tabellen ersichtlich.

Gegenüber der getrennten Bestimmung der monokularen und binokularen Schwelle in verschiedenen Sitzungen muss gel-

tend gemacht werden, dass es kaum möglich sein dürfte, die Schwellenbestimmungen in an verschiedenen Tagen abgehaltenen Sitzungen unter genau denselben Bedingungen (vorangehende Vorbelichtung, Ermüdung etc.), vor allem auch zu ganz genau derselben Zeit vorzunehmen. Schon ganz geringe zeitliche Abweichungen können aber besonders in den ersten Minuten zu falchen Ergebnissen führen, während im späteren Verlauf dieser Faktor keine grosse Rolle mehr spielt. Ganz allgemein dürfte daher die gemeinsame Bestimmung von monokularen und binokularen Schwellen in einer Sitzung und nachträgliche Korrektur der Zeitdifferenzen zwischen den Messungen vorzuziehen sein.

Roelofs u. *Zeeman* versuchten die von ihnen beobachtete Reizsummation mit der *Hering*'schen Theorie in Einklang zu bringen. Sie hielten das Auftreten einer Summation für abhängig davon, ob das Reizobjekt noch Konturen erkennen liess oder nicht. Durch spätere Versuche (53) stützten sie ihre Ansicht, dass Reizsummation nur auftrete, wenn keine Konturen mehr gesehen werden.

Ferner sind hier einige Arbeiten von *Best* (6) zu besprechen. Er arbeitete 1917 eine Methode zur Bestimmung des Adaptationsverlaufes mittels Leuchtfarben aus und verwandte dazu luminiszierende Leuchtschirme, die er durch Umbralgläser betrachten liess. Durch geeignete Variation der Anzahl der vorgeschalteten Gläser ermittelte er jeweils die Erscheinungsschwelle, die er durch die Verschwindungsschwelle kontrollierte. *Foveal* untersuchte er mit Hilfe eines Fixierpunktes, indem er einen Leuchtschirm von 1 qcm Grösse aus einer Entfernung von einem halben Meter betrachten liess. Er fand so die Schwelle foveal sehr viel höher als peripher, und ausserdem ergab sich ihm folgendes: »Die Grenze der Empfindlichkeit ist für die Macula monokular nicht wesentlich anders als binokular, ohne dass ich geringe Unterschiede zu Ungunsten der einäugigen Betrachtung leugnen will«.

Bei Untersuchung peripherer Netzhautpartien, die er in der 30. bis 45. Minute der Dunkeladaptation mit verschieden grossen Reizfeldern (5 mal 2 cm, 4 mal 4 cm in einem halben Meter Entfernung, 5 mal 2 cm in 1 Meter Entfernung u. a.) vornahm, fand *Best*, dass die Empfindlichkeit bei monokularer Beobach-

tung nur etwa die Hälfte der binokularen beträgt. *Best* schreibt deshalb: »Ich finde den Endwert in Uebereinstimmung mit den meisten Untersuchern etwa doppelt so hoch bei Beobachtung mit einem Auge als mit beiden, bei Verwendung grossen und kleinen Reizfeldes«. — Aus einer späteren Veröffentlichung von *Best* (7) geht aus einer Krankengeschichte, die die entsprechenden Daten enthält, hervor, dass in dem mitgeteilten Falle ebenfalls eine Summation gefunden wurde.

Untersuchungen, die *Best* anstellte, um das *Piper*'sche Gesetz von der Proportionalität zwischen Winkelgrösse und Lichtintensität eines Reizobjektes nachzuprüfen, ergaben, dass dieses Gesetz für grosse Reizflächen (5 mal 8 oder 4 mal 4 cm aus einem halben Meter Entfernung) nicht mehr gilt.

Kurz erwähnt sei hier auch *Nagel* (43), der in Bezug auf die binokulare Summation im Handbuch der physiologischen Optik, ohne näher eigene Untersuchungen mitzuteilen, sagt: »Ich finde die Tatsache der binokularen Reizaddition bei mir und vielen andern Beobachtern sehr leicht nachweisbar«.

Wenden wir uns nun zur Besprechung derjenigen neueren Forschungen, die ebenfalls die binokulare Summation *bestätigen*.

Mit besonderer Methode stellte *Laird* (31) seine Studien über die Summation an. Er benützte 4 mm grosse Reizfelder, deren Lichtintensität und - Qualität durch von hinten erleuchtete *Lovibond*'sche Farbenschieber variiert werden konnten, und die aus 10 cm Entfernung betrachtet wurden. Dabei ergab sich bei den Messungen an helladaptierten Augen mit rotem Reizlicht keine binokulare Summation. Wohl aber trat eine solche nach 10 Minuten Dunkeladaptation auf und zwar bis über das Doppelte der monokularen Empfindlichkeit hinaus. Auch bei Vergleichung eines binokular gesehenen Reizfeldes mit einem monokular dargebotenen überschwelligen Standardreiz fand er entsprechende Unterschiede bei Hell- und Dunkeladaptation. Das Fehlen der Summation im helladaptierten Auge erklärt er durch zerebrale Hemmung des einen Auges zu Gunsten des besseren.

Bei seinen Versuchen über die Momentadaptation stellte *Noldt* (45) ebenfalls eine binokulare Summation fest. Er mass die Zeit, die zwischen dem Auslöschen eines starken Reizlichtes

(A-Reiz) und dem in Erscheinungtreten eines ständig dargebotenen, zunächst unterschwelligen Reizlichtes von 19° Winkelgrösse (B-Reiz) vergeht. Diese Zeit nannte er Adaptionszeit und fand, dass sie bei binokularer Beobachtung kürzer war als bei monokularer. »Bei schwachen B-Reizen (die 1/1600 des A-Reizes betrugen) ist der Unterschied sogar erheblich. — Unsere Versuche zeigen, dass auch bei der Momentadaptation eine ähnliche Ueberlegenheit des binokularen Sehens (wie sie von *Piper* als Summation beschrieben wurde) über das monokulare besteht«.

Ganz ähnliche Versuche zum Studium der Momentadaptation stellte *Heinemann* (24) an. Bezüglich der Summation kam er zu dem gleichen Ergebnis: »Bei den Versuchen mit monokulärer Beobachtung fanden wir ebenso wie *Noldt* eine Verlängerung der Adaptationszeiten gegenüber der binokulären Beobachtung. Die binokuläre Reizsummation ist speziell dem Dämmerungssehen eigen.« *Heinemann* gibt für diese Erscheinung eine teleologische Erklärung: »Im Dunkelsehen ist die binokulare Reizsummation dem Auffassungsakt dienlich, im Tagessehen und vor allem bei zu grossen Helligkeiten ist sie dagegen störend, weshalb sie hier ganz ausfällt.«

D. Shaad (55) traf ihre Versuchsanordnung so, dass den Versuchspersonen der Reiz ohne deren Wissen monokular und binokular dargeboten werden konnte. Sie untersuchte mit 2° grossem Reizfeld 10° parazentral am *Nagel*schen Adaptometer. Bestimmt wurde die Erscheinungsschwelle nach 25 Minuten Dunkeladaptation und zwar mit 0.2 bis 0.5 Sekunden dauernden Einzelreizen. *D. Shaad* fand die binokulare Schwelle ca. 30 Prozent niedriger als die monokulare, aber nur, wenn der Reiz korrespondierende Netzhautstellen traf. Wirkte er auf nicht identische Stellen ein, so war keine binokulare Summation festzustellen. Desgleichen wurde die Schwelle nicht erniedrigt, wenn monokular gleichzeitig nasale und temporale Netzhautbezirke belichtet wurden. Ferner war die Summation unabhängig von der Grösse des Reizobjektes (1° und 8° Winkelgrösse), wenn eben nur korrespondierende Stellen gereizt wurden. *D. Shaads* Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den von *Lohmann* entwikkelten Vorstellungen, wonach Summation gerade dann auftritt, wenn *nicht* identische Netzhautstellen erregt werden. — *D.*

Shaad hält es für wahrscheinlich, dass die Summation durch zentrale Zusammenfassung in der Netzhaut getrennter Erregungen zustande kommt.

In einem kurzen Aufsatze, der mir im Original nicht zugänglich war, bestätigen *Fujita, Hosoya* und *Hashimoto* (19) ohne nähere Zahlenangaben das Vorhandensein der binokularen Summation.

Auch *Comberg* (11) erwähnt die Frage der Summation im Handbuch für Ophthalmologie ganz kurz und fügt hinzu: »Auch nach meinen eigenen Erfahrungen besteht daran kein Zweifel.«

Aeltere Arbeiten, in denen das Vorhandensein einer binokularen Reizsummation *bestritten* wird, liegen u. a. von *Wölfflin* (67) vor. In einer Untersuchung über den Einfluss des Lebensalters auf den Adaptationsverlauf bestimmte er auch die binokularen und monokularen Schwellen. Er bediente sich zweier ineinander gehender Dunkelkammern. Die Versuchsperson sass in der inneren und blickte auf einen schräg gestellten Schirm, auf den von der Seite her das Reizlicht geworfen wurde. Die Lichtstärke konnte durch eine Irisblende reguliert werden. Durch geeignet angebrachte Fixationslampen wurde die Netzhaut durch das Reizlicht 13° parazentral gereizt. Bei drei Versuchspersonen untersuchte *Wölfflin* so die binokularen und monokularen Schwellen nach 22 bis 28 Minuten Dunkeladaptation. Als Schwellenwert benutzte er das arithmetische Mittel zwischen Verschwindungs- und Erscheinungsschwelle. Dabei fand er binokular ungefähr dieselben Schwellenwerte wie monokular. In weiteren Experimenten fand *Wölfflin* (68) ebenfalls keine Summation, ohne darüber nähere Angaben zu machen. Seine von *Piper* abweichenden Resultate glaubt er zunächst daraus erklären zu können, dass er seine Messungen 13° parazentral, *Piper* die seinen aber parazentral und zentral gemacht habe. Er kommt zu dem Ergebnis: »Die monokulare Lichtreizschwelle ist während des ganzen Verlaufes der Dunkeladaptation gleich oder wenigstens nahezu gleich der binokularen. Hell- und Dunkeladaptation verlaufen also nach demselben Modus.«

In einer späteren Arbeit (1910) jedoch teilt *Wölfflin* (69) mit, dass er in einer grossen Zahl von Untersuchungen, die er diesmal mit dem *Nagel*schen Adaptometer ausführte, jenseits der

ersten halben Stunde der Dunkeladaptation eine binokulare Summation fand. Dass seine ersten Versuche ein anderes Resultat ergaben, führt er darauf zurück, dass er die Messungen innerhalb der ersten halben Stunde unternommen hatte. In dieser Zeit sei die Summation noch nicht so ausgesprochen. Jedoch gäbe es eine Anzahl von Fällen, in denen auch nach 30 Minuten keine Summation gefunden würde. *Wölfflin* hält es für möglich, dass hier die Summation erst nach einer Stunde oder noch später auftritt. Auch *Stargardt* und *Lohmann* hätten die binokulare Summation nicht immer gefunden.

Downey (14), der 1919 Versuche mit einer radioaktiven Substanz zur Messung des Adaptionsverlaufes anstellte, erwähnt als eines seiner Ergebnisse, dass er die binokulare Schwelle ebenso gross gefunden habe, wie die monokulare, ohne jedoch genauere Daten der diesbezüglichen Messungen zu geben. —

Aus neuerer Zeit ist eine grössere Anzahl von Arbeiten zu nennen, in denen keine Summation gefunden wurde.

E. Müller (39, 40) machte Messungen mit Hilfe einer ziemlich komplizierten Methodik, indem er die Helligkeit des Reizlichtes durch Drehung zweier Nicolscher Prismen gegeneinander variierte und den Cosinus des abgelesenen Drehungswinkels als Mass der Lichtintensität nahm. Er musste bei diesen Versuchen mit Kreuzungswinkeln von annähernd 90° arbeiten. Deshalb scheint uns diese Versuchsanordnung für die Bestimmung der Schwellenwerte ungünstig zu sein; denn schon eine sehr kleine Aenderung der Grösse des Kreuzungswinkels bedingt dabei einen grossen Unterschied der Lichtintensitäten. *E. Müller* mass jeweils die Erscheinungsstelle nach 45 Minuten Dunkeladaptation und kontrollierte die von den Versuchspersonen gemachten Angaben über die Sichtbarkeit des Reizlichtes durch unmerkliches Ein- und Ausschalten der Lichtquelle. Auf diese Weise wollte er möglichst objektiv die Schwelle feststellen, indem er nur die Bestimmungen verwertete, bei denen die Versuchspersonen angaben, dass sie ein Auslöschen wahrnahmen, wenn er das Reizlicht tatsächlich auslöschte. Auf diese Weise machte er monokular und binokular bei jeder Versuchsperson je 5 Messungen. Diese 5 Werte zeigen nun untereinander sehr grosse Unterschiede, obwohl sie alle Schwellenreize waren, da sie ja alle durch das Auslöschen des Reizlichtes als solche fest-

gestellt wurden. Deshalb glaubte *E. Müller* auch, nicht die Durchschnittswerte der 5 Bestimmungen, sondern die jeweils niedrigsten monokularen und binokularen Werte miteinander vergleichen zu müssen. Von 18 derartigen Untersuchungen fand er so bei 8 Versuchspersonen die binokulare Schwelle etwas tiefer liegend als die monokulare, in 10 Fällen waren beide Schwellen gleich oder nahezu gleich. *E. Müller* kommt daher zu dem Schluss: »... dass die Versuche keine Anhaltspunkte ergeben haben für die Annahme, dass im dunkeladaptierten Auge die binokulare Schwelle tiefer liegt als die monokulare.«

H. U. Möller (38) untersuchte mittels der von *Tscherning* angegebenen photometrischen Gläser zahlreiche mit der Adaptation zusammenhängende Fragen. Mit der Untersuchung der binokularen Summation hat er sich anscheinend nur nebenbei beschäftigt, da er nicht ausführlicher darauf eingeht. Nach maximaler Adaptation war der monokulare Schwellenwert durch leichte Abschwächung des Reizlichtes binokular nicht mehr sichtbar. Er glaubt deshalb, mit diesen photometrischen Gläsern keine binokulare Reizaddition gefunden zu haben.

Die russisch geschriebene Arbeit von *Dymsic* (15), der mit dem *Nagel*schen Adaptometer den Adaptationsverlauf von 47emmetropen Personen aufnahm, war mir nur im Referat zugänglich. *Dymsic* bestimmte nach einer Vorbelichtung von 15 bis 20 Minuten die Schwelle sofort im Beginn des Dunkelaufenthaltes und dann alle 5 Minuten bis zur 55. bis 75. Minute. Auf Summation untersuchte er 18 Personen, von denen nur eine eine deutliche Summation zeigte.

Graham (23) stellte Untersuchungen über die binokulare Summation in getrennten Versuchsreihen für die Netzhautperipherie und die Fovea an. Seine Ergebnisse bezüglich der Fovea werden später besprochen. — Für die Untersuchung der Peripherie traf er folgende Anordnung: Unter Verwendung eines roten Fixierkreuzes wurde ein 10^{0} extrafovealer Netzhautbezirk durch ein kreisförmiges Feld von 1,35 cm Durchmesser aus 25 cm Entfernung betrachtet, wobei die Versuchspersonen durch eine künstliche Pupille von 2 mm Durchmesser zu blicken hatten. Die Intensität des Reizlichtes wurde durch Verschieben der das Reizlicht speisenden Lichtquelle in einer 4 Meter langen Röhre variiert. Die an 3 Personen nach 30 Mi-

nuten langem Dunkelaufenthalt gefundenen Schwellenwerte zeigten monokular und binokular den gleichen Verlauf. Um *Pipers* Versuchsanordnung möglichst nahe zu kommen, wiederholte *Graham* die Versuche mit einer 10 mal 10 cm grossen Reizfläche aus 30 cm Entfernung. Auch diesmal bot der Verlauf der Kurve keinen Anhaltspunkt für das Bestehen einer Summation.

Neuerdings (1934) hat auch *Tsutui* (65) das Vorhandensein einer binokularen Summation bestritten. Er machte an 24 Personen 40 Adaptationsbestimmungen am Nagelschen Adaptometer und verfolgte den Verlauf der Adaptation durch 60 bis 80 Minuten, indem er alle 5 Minuten eine Bestimmung machte. Jedesmal wurde zuerst der binokulare, dann die beiden monokularen, dann nochmals der binokulare Schwellenwert gemessen. Alle 4 Messungen fanden innerhalb einer Minute statt. Durch dieses Verfahren gelang es, ohne weiteres vergleichbare Mittelwerte für die binokulare und monokulare Schwelle zu erhalten. Aus der deutschen Zusammenfassung, die *Tsutui* seiner japanischen Abhandlung vorausschickt, geht leider nichts hervor über die Art der Vorbelichtung, ob die Erscheinungs- oder Verschwindungsschwelle bestimmt wurde etc. *Tsutui* fand die binokulare Schwelle immer etwas niedriger als die monokulare. Die Fehlerberechnung gab jedoch keinen Anhaltspunkt dafür, dass es sich dabei um gesetzmässige Unterschiede handelte. Die von *Tsutui* vorgenommene zahlenmässige Bewertung der Ergebnisse bedarf der näheren Besprechung, die später erfolgen soll.

Kurz erwähnt sei schliesslich, dass auch *Tschermak* (64) eine Reizsummation nicht annimmt. Er äussert sich im Rahmen seiner Abhandlung über den »optischen Raumsinn« über die Summation folgendermassen: »Besonders bei Verwendung schwellennaher Reize kann im Zustand von Dunkeladaptation, — nicht so in jenem von Helladaptation —, der Anschein einer binokularen Helligkeitssummation auftreten, doch handelt es sich wohl nur um eine trügerische Komplikation infolge der verwendeten Methode. Das unbestreitbare Plus an Eindringlichkeit oder »Vividität«, welches der binokulare Eindruck — speziell bei Beobachtung an binokularen Instrumenten — gegenüber dem monokularen Eindruck besitzt, darf nicht mit Hel-

ligkeitssummation verwechselt werden.« — Dazu ist jedoch zu sagen, dass bei schwellennahen Reizen wohl kaum mehr von einer »Vividität« gesprochen werden kann, da beide — monokulare wie binokulare — Reize dem Beobachter gleich vage und uneindringlich erscheinen.

Untersuchungen der Fovea.

Während die bisher besprochenen Arbeiten sich *vorwiegend* mit der Erforschung der Summation in peripheren Netzhautbezirken beschäftigen und damit hauptsächlich den Dämmerungsapparat untersuchen, richteten einige Forscher ihr besonderes Interesse auf die Fovea. Ausser *Best*, dessen Ergebnisse bereits besprochen wurden, sind dies *Abney* u. *Watson*, *Graham* und *Cook*.

Abney u. *Watson* (1) schufen sich mit Hilfe einer komplizierten Apparatur die Möglichkeit, mit einzelnen isolierten Spektrallichtern foveal zu reizen. Als Reizobjekt diente ihnen eine Scheibe von der Winkelgrösse 34′. Die foveale Einstellung wurde durch einen Fixierpunkt ermöglicht. Nach 30 Minuten Dunkeladaptation prüften sie die Verschwindungsstelle mit einem momentanen Reiz, den sie durch die Versuchsperson selber auf Schwellenintensität einstellen liessen. Bei 2 auf binokulare Summation untersuchten Personen fanden sie mit verschiedenartigsten Spektrallichtern weder foveal noch 5° parafoveal eine Summation, sondern die binokularen Werte gleich denen des besseren Auges. Sie halten ihre Ergebnisse für im Widerspruch zu *Pipers* Resultaten stehend, was sie darauf zurückzuführen versuchen, dass *Piper Dauer*reize, sie aber *Moment*reize verwendeten. Sie berücksichtigen jedoch nicht, dass *Piper* mit grossem Reizfeld peripher, sie aber mit sehr kleinem Reizfeld foveal und parafoveal untersuchten, worauf die Differenz der Ergebnisse beruhen könnte.

Graham (22) untersuchte ebenfalls die Verhältnisse in der Fovea bezüglich der Summation. Seine Methode wurde bereits bei Besprechung seiner Untersuchungen der Netzhautperipherie kurz skizziert. Als Testobjekt diente ihm ein rotes leuchtendes Kreuz von 0,65 mm Durchmesser in 25 cm Entfernung. Er liess die Versuchspersonen sich zuerst 3 Minuten dunkel adaptieren, dann 5 Minuten vor einer Milchglasscheibe von 130 ml Erleuch-

tung helladaptieren und untersuchte dann die fovealen Schwellenwerte. Er fand bei 9 Vp. innerhalb der Fehlergrenzen die monokularen Schwellen gleich den binokularen.

Mit wieder anderer Methodik arbeitete *Cook* (12). Er baute die Apparatur so auf, dass eine Milchglasscheibe von 55′ Gesichtswinkel zu betrachten war, deren Helligkeit er durch Abstandsveränderung der Lichtquelle, Gelatinefilter und Episkotister variieren konnte. Die Fixation wurde durch eine künstliche Pupille von 1 mm Durchmesser und 4 an den Grenzen des sich so ergebenden, 5° grossen Gesichtsfeldes angebrachten Leuchtfarbenmarken gewährleistet. Ausserdem richtete er es so ein, dass er die Vp. helladaptieren und unmittelbar nach der Verdunkelung, ohne dass die Personen sich zu bewegen brauchten, die ersten Schwellenbestimmungen machen konnte. Er benutzte 5, der Intensität nach abgestufte, aber nicht variable Schwellenreize und notierte die Zeit, nach der diese eben sichtbar wurden. Diese Schwellenreize waren so gewählt, dass sie sämtlich in den ersten 30 Sekunden nach Beginn des Dunkelaufenthaltes bemerkt werden konnten.

In einer anderen Versuchsreihe machte *Cook* nach 3 Minuten Vorbelichtung die Schwellenbestimmungen nach der ersten, dritten, siebenten, elften und fünfzehnten Minute der Dunkeladaptation. Von seinen 9 Vp. zeigten unter diesen Umständen 3 eine monokular um 50 Prozent höhere Schwelle als binokular. Bei weiteren 3 Personen lag die binokulare Schwelle ungefähr gleich hoch wie die des besseren Auges. In 3 Fällen ergab sich ferner nach einstündiger Dunkeladaptation foveal keine höhere Schwelle als parafoveal, bei den übrigen war dies nicht der Fall. *Cook* nimmt deshalb an, dass es 2 verschiedene Typen der Adaptation gibt: der eine Typus zeigt foveal und parafoveal fast die gleiche Empfindlichkeit, der andere Typus weist parafoveal eine viel höhere Empfindlichkeit auf als foveal. Er findet diese Ansicht im Einklang stehend mit von *Abney* u. *Watson* gefundenen ähnlichen Resultaten. Die bei 3 Personen gefundene foveale Summation hält *Cook* für im Widerspruch stehend mit der *Piper*schen Hypothese, dass nur der Stäbchenapparat zur binokularen Summation befähigt sei. Nach seinen Resultaten wäre eine solche, wenigstens für einen Teil der Fälle, auch für den Zapfenapparat anzunehmen.

Anhang.

Es seien noch kurz einige Arbeiten erwähnt, die sich mit ähnlichen Erscheinungen, wie die binokulare Schwellenreizsummation beschäftigen.

Brückner u. Kirsch (9) stellten bei galvanischer Reizung des Auges eine eindeutige Reizsummation fest, wenn beide Augen erregt wurden und zwar bei dunkeladaptierten Augen mit grosser Sicherheit in 75 Prozent, im Zustand der Helladaptation nur unsicher in 40 Prozent der Fälle. Sie kommen zu dem Ergebnis: »... dass eine Differenz zwischen hell- und dunkeladaptiertem Auge bezüglich der Reizsummation bei binokularer Reizung besteht: bei Helladaptation ist keine Summation gegeben, bei Dunkeladaptation ist sie zweifellos vorhanden.«

Ueber die Schwellenwerte der Reizlicht*dauer* stellte *Braunstein* (8) Untersuchungen an. Er fand: »1. Bei maximaler Helladaptation ist die Zeitschwelle des Lichtreizes bei monokulärer und bei binokulärer Beobachtung fast die gleiche. 2. Nach der Dunkeladaptation während 60 Minuten ist die minimale Reizdauer bei Binokularbeobachtung 1½ mal so kurz wie bei der Beobachtung mit einem Auge.«

Sherrington (56) fand, dass bei Untersuchung der Augen mittels der Flimmermethode die binokulare Verschmelzungsfrequenz höher liegt als die monokulare.

Lippay (32), der die Unterschiedsschwelle für Helligkeiten nach kurzer Vorbelichtung an beiden Augen prüfte, kam zu dem Ergebnis, dass diese *foveal* monokular und binokular gleich ist, dass dagegen *peripher* die binokulare Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten die monokulare weit übertrifft. Er zieht deshalb folgenden Schluss: »Man wird also mit einer verschiedenen funktionellen Verknüpfung der Netzhautzentren und Netzhautperipherien oder, vielleicht anders ausgedrückt der Hell- und Dunkelapparate beider Augen zu rechnen haben.«

Ueber das Verhalten der *Empfindungszeit* gegenüber binokularen und monokularen Reizen liegen nach *Fröhlich* (17) keine speziellen Untersuchungen vor. Für überschwellige Reize scheint kein Unterschied in den Empfindungszeiten zu bestehen, doch glaubt *Fröhlich* dass für Schwellenreize » . . . bei binokulärer Beobachtung unter bestimmten Bedingungen eine kürzere Empfindungszeit zu erwarten wäre«.

Henius (26) untersuchte die Abhängigkeit der Schwellenreizgrösse von der Winkelgrösse des Reizobjektes und fand, dass für das Dämmerungssehen die *Piper*'sche Abhängigkeitsregel gilt. Für den Tagesapparat konnte er aber weder bei fovealem noch bei extrafovealem Sehen einen Zusammenhang zwischen Schwellenreizlichtintensität und Winkelgrösse des Reizobjektes feststellen.

Zu dem gleichen Ergebnis kam *Fujita* (18), der ausserdem noch fand, dass dies für jede Exzentrizität und Farbe gilt. Der Einfluss des Reizflächenwinkels auf die Schwellenreizintensität im dunkeladaptierten Auge wird aber relativ kleiner, je grösser dieser Winkel gemacht wird.

Erwähnt sei hier auch noch ein Experiment von *Kerr* (29), der sich von einer weissen Figur auf schwarzem Grunde Doppelbilder erzeugte und zwar so, dass diese sich zum Teil noch überdeckten. Er fand dabei, dass die sich deckenden Partien heller erschienen, als die übrigen, und neigt auf Grund dieses Versuches dazu, das Vorhandensein einer Summation zu bejahen.

Tomlinson (61) bestritt, dass diese Erscheinung auf binokularer Summation beruhe, sie sei vielmehr die Folge einer dabei auftretenden Kontrastwirkung. Er erwähnt, dass binokular gesehene Flächen und auch binokular gesehene Schwellenreize immer um ein Geringes heller seien, als monokular gesehen, hält dies aber nicht für ein Ergebnis wirklicher Reizsummation.

Zusammenfassung.

Nach diesem Ueberblick über die Literatur, der zeigt, von wie ausserordentlich verschiedenen Seiten das Problem der binokularen Reizsummation bereits angegangen wurde, fassen wir noch einmal kurz die Ergebnisse in Gruppen zusammen.

Im Zustand der Dunkeladaptation *(Dämmerungs*sehen) wurde eine binokulare Summation beobachtet von: *Piper, Feilchenfeld* u. *Loeser, Heinrichsdorff, Lohmann, Horn, Messmer, Stargardt, Behr, Roelofs* u. *Zeeman, Best, Wölfflin* und *Shaad.* Wie weit auch *Noldt, Heinemann* und schliesslich *Laird* den Dämmerungsapparat allein untersuchten, ist nicht ganz sicher.

Bei Untersuchung des Dämmerungsapparates wurde *keine*

Reizsummation gefunden von: *E. Müller, Dymsic, Graham* und *Tsutiu.* — Ob auch *Downey* und *H. U. Möller* in vollständiger Dunkeladaptation untersuchten, lässt sich nicht feststellen.

Die Untersuchungen des *Tages*apparates sind zu unterscheiden in solche, die in den ersten Minuten nach Beginn der Dunkeladaptation stattfanden und solche, die foveal gemacht wurden.

Zu der ersten Gruppe gehörig wurde eine Summation festgestellt von: *Roelofs* u. *Zeemann* und in geringem Masse von *Lohmann.*

Keine binokulare Summation in den ersten Minuten ergab sich *Piper, Feilchenfeld* u. *Loeser, Messmer* und *Laird.*

Foveal wurde der Tagesapparat untersucht und dabei *keine* binokulare Summation gefunden von: *Best, Abney* u. *Watson* und *Graham.* Auch *Cook* beobachtete in einigen Fällen foveal keine Summation, in anderen jedoch war sie vorhanden.

Es ergibt sich also, dass bei *fovealer* Untersuchung in ziemlicher Uebereinstimmung keine Summation gefunden wurde. Dagegen herrschen manche Widersprüche in Bezug auf die Summation in den ersten Minuten des Dunkelaufenthaltes. Sehr verschieden sind auch die Ansichten über die Summation des *Dämmerungs*apparates, in dem eine solche sicher von 12 Forschern nachgewiesen werden konnte, 4 dagegen keine Summation fanden.

Die positiven Befunde bezüglich der Summation wurden von 10 Forschern mit Hilfe des *Nagel*schen oder *Piper*schen Adaptometers erhoben; zwei benutzten eigene Verfahren. Von den 4 Forschern, die keine Summation fanden, wandten ebenfalls zwei selbst konstruierte Apparaturen an.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Im folgenden werden die eigenen Versuche und deren Resultate beschrieben. Wie schon eingangs gesagt, sollten die Verhältnisse bezüglich der Summation für den Tages- und Dämmerungsapparat getrennt untersucht werden.

Zur Prüfung des Tagesapparates standen 3 Methoden zur Verfügung.

1. Untersuchung in den ersten Minuten des Dunkelaufenthaltes.
2. Untersuchung mittels rein fovealer Reizung.
3. Untersuchung mit Rotlicht.

Von der ersten Methode wurde Abstand genommen, da hierbei zur Prüfung des Tagesapparates, selbst nach starker Vorbelichtung, nur wenige Minuten in Frage kommen. Ausserdem verändert sich ja in den ersten Minuten des Dunkelaufenthaltes die Empfindlichkeit des Auges so schnell, dass ein Vergleich binokularer und monokularer Messungen nur schwer genau durchführbar ist.

Die Methode der rein fovealen Reizung hat ebenfalls viele Nachteile. Es ist schwierig, wirklich rein foveal zu untersuchen, selbst mit Hilfe von Fixierpunkten, wobei auch diese evtl. die Ergebnisse beeinflussen können; und dann ist es bei der notwendigen Kleinheit der Reizobjekte wohl doppelt schwer, genaue Angaben über die Schwelle zu machen.

Es wurde daher, der dritte zur Verfügung stehende Weg gewählt und die Schwellen des Tagesapparates mit *rotem* Licht bestimmt. *Kohlrausch* (30) gibt an, dass Lichter mit Wellenlängen von mehr als 680 mμ einen »verschwindend kleinen Däm-

merwert« besitzen, praktisch also für die isolierte Untersuchung des Tagesapparates in Betracht kommen. Bei Verwendung eines Filters, das nur für derartiges langwelliges Licht durchlässig ist, musste es also auf einfache Weise gelingen, die monokulare und binokulare Schwellenerregbarkeit des Tagesapparates zu ermitteln. Eigenartigerweise liegen bis jetzt keine derartigen Untersuchungen vor.

Methode.

Zu den Schwellenbestimmungen wurde ein *Nagel*sches Adaptometer verwendet. Um das Reizlicht unabhängig von den Schwankungen im Ortsstromnetz zu machen, wurde ein Wolfram-Eisen-Widerstand vor das Adaptometer geschaltet und so eine gleichmässige Lichtintensität gewährleistet. (Auf den Einfluss der Stromschwankungen auf die Adaptationsbestimmungen haben *Wölfflin*, (68) *Stargardt* (54) und *Wessely* (66) hingewiesen).

Sämtliche Untersuchungen wurden in maximaler Mydriasis vorgenommen, die durch 2 prozentige Homatropin - Cocainlösung erzielt wurde. Es wurde dadurch vermieden, dass durch unkontrollierbare Akkommodations - und Convergenzvorgänge die Pupillenweite und damit die Messresultate beeinflusst wurden. (Ueber die Auswirkung der Pupillenweite auf den Ablauf der Adaptation wurden von *Grafe* (21), *Rütgers* (54), *Travis* (62) u. a. Untersuchungen angestellt). Auch die von *Reeves* (50) beobachtete Pupillenerweiterung beim Schliessen des einen Auges, auf deren möglichen Einfluss auf die Summation von *D. Adams* (2) aufmerksam gemacht wurde, konnte durch die künstliche Mydriasis ausgeschaltet werden.

Der Vorbelichtung der Augen ging ein halbstündiger Aufenthalt im Dunkeln voraus, um einerseits die Mydriatica vor Beginn der Untersuchungen zur vollen Wirksamkeit zu bringen, andererseits eine möglichst gleichmässige Basis für die Bestimmungen zu erhalten, da die einzelnen Versuchspersonen je nach der Tageszeit sich in verschiedenartigen Adaptationszuständen befanden. — Die *Vorbelichtung* wurde mit einem in der Universitätsaugenklinik Basel konstruierten Apparat (Hersteller-Firma: *E. Braun*, Basel, Birsstrasse 82) vorgenommen. Dieser besteht aus einer Hohlkugel von ca. 35 cm Durchmesser, die

innen gleichmässig weiss überzogen ist. In der Kugel befindet sich ein der Kopfform der Versuchsperson angepasster Ausschnitt. Das Innere der Kugel wird durch 3 Lampen, die gegen das Gesichtsfeld der Versuchsperson abgeschirmt sind, erleuchtet. Durch diesen Apparat wird eine nahezu vollständige Belichtung sämtlicher Netzhautbezicke ermöglicht. Die durch ihn erzielte Helligkeit beträgt 3000 Lux Erhellung ⊥ Barytweiss. Die Vpn. wurden dieser Vorbelichtung genau 10 Minuten ausgesetzt und aufgefordert, während dieser Zeit den Blick kreisen zu lassen. Nach Beendigung der Vorbelichtung wurden die Vpn. durch eine Drehung auf dem Stuhl vor das Adaptometer gebracht. Das kreisrunde Reizfeld befand sich in einem Abstand von 60 cm von der Kinnstütze. Sein Durchmesser mass 10 cm, die Winkelgrösse des Reizobjektes betrug somit ca. 10^0. — Ein Fixationspunkt erübrigte sich bei dieser Winkelgrösse, da ja ohnehin auch extrafoveal gereizt wurde. Jedoch wurden die Vp. dazu angehalten, das Reizfeld direkt anzusehen, was keine Schwierigkeiten bereitete. Auf diese Weise wurden also ein Bezirk von 5^0 Radius rings um die Fovea und diese selbst gereizt. Die Schwellenwerte — es wurde jeweils die Verschwindungsstelle bestimmt — wurden vom Versuchsleiter eingestellt, der gleichzeitig die Skalenwerte ablas. Auf diese Weise konnte eine ganz gleichmässige Handhabung der Apparatur gewährleistet werden, umso mehr, als die Skalenwerte jedesmal erst abgelesen wurden, wenn die Vp. die Schwelle angegeben hatte, sodass also der Versuchsleiter erst in diesem Moment sah, wie hoch die Schwelle jeweils lag.

Die erste Messung wurde in allen Versuchen eine Minute nach Beginn der Dunkeladaptation vorgenommen. Eine noch frühere Messung erschien unzweckmässig, da durch Nachbilder, die infolge der Mydriasis natürlich besonders eindringlich waren, eine exakte Bestimmung in einem früheren Zeitpunkt zweifelhaft gewesen wäre. Selbst die Messungen nach einer Minute zeigen noch so grosse Unausgeglichenheiten, dass sie zur Beurteilung nicht gut herangezogen werden können. — Da das Gewicht der Untersuchungen nicht auf den allerersten Stadien der Dunkeladaptation lag, erübrigte es sich, komplizierte Methoden anzuwenden, um für diese erste Zeit exaktere Resultate zu erhalten. — Die weiteren Messungen wurden dann bis zur

25. Minute im Abstand von 3 Minuten gemacht, späterhin bis zur 45. Minute im Abstand von 5 Minuten. Im Laufe einer jeden Untersuchung wurden also an 13 verschiedenen Zeitpunkten die Schwellenbestimmungen vorgenommen. Zuerst wurde jeweils die Schwelle des rechten Auges aufgesucht, dann die des linken und zuletzt die binokulare Schwelle. Jede dieser einzelnen Bestimmungen benötigte eine Zeit von ca. 15 Sekunden, sodass die Messung aller drei Schwellenwerte jedesmal nach ca. 45 Sekunden beendet war.

1. *Untersuchung* des *Dämmerungsapparates.* Zu diesem Zweck wurde das »weisse« Reizlicht des *Nagel*schen Adaptometers benutzt. Eine Eichung mittels des Pulfrichschen Stufenphotometers ergab für die maximale Intensität des Reizlichtes (alle 3 Milchglasplatten ausgezogen, Blendenweite 100,000) einen Wert von 1,54 Lux.

2. *Untersuchung des Tagesapparates.*

Es wurde ein Rotfilter verwendet von einer Durchlässigkeit, wie sie durch das Kurvenbild (Abb. 4) und die zugehörige Tabelle (Tab. IV) veranschaulicht wird. Da durch das Filter die Intensität des Reizlichtes natürlich erheblich abgeschwächt wurde, war es nötig, durch Entfernung der unmittelbar vor der Lichtquelle eingeschalteten Scheiben (eine Blauglasplatte und 2 Milchglasplatten) die Reizlichtintensität zu verstärken. Auf diese Weise wurde ein Reizlicht erhalten, dessen Intensität durch heterochrome Photometrie mit dem Stufenphotometer zu messen versucht wurde. Die Messungen ergaben aber unsichere Resultate, sodass auf deren Wiedergabe verzichtet wird. Unter Berücksichtigung der durch Messung bestimmten Intensität des weissen Reizlichtes und der Durchlässigkeitskurve für Rotlicht (Abb. 4) würden einer experimentellen Rekonstruktion keine Schwierigkeiten erwachsen.

In der Regel wurde bei allen Untersuchungen jede Messung einmalig vorgenommen. Nur wenn infolge von Phosphenen oder Aufmerksamkeitsstörungen an der Exaktheit einer Bestimmung zu zweifeln war, wurde sie wiederholt, was sich jedoch nur selten als notwendig erwies.

Es wurden 11 Untersuchungen mit »weissem« Reizlicht zur Prüfung des Dämmerungsapparates und in einer weiteren Ver-

suchsreihe 11 Untersuchungen mit Rotlicht zur Prüfung des Tagesapparates ausgeführt. Es standen dazu 16 Vpn. zur Verfügung. 6 von diesen wurden daher 2 Untersuchungen, einer für den Tages- und einer für den Dämmerungsapparat, unterzogen. Die Vpn. waren in der Mehrzahl Studenten. Vor Beginn der Untersuchungen wurde ihnen der Ablauf der Messungen erklärt und demonstriert, jedoch wurde ihnen der Zweck der Untersuchungen verschwiegen, um ganz unvoreingenommene Resultate zu erhalten. — 3 der Vpn. waren myop, die übrigen zeigten keine stärkeren Refraktionsanomalien.

Abb 1 gibt den durchschnittlichen Verlauf der Dunkeladaptation bei Schwellenbestimmung mit weissem und mit rotem Reizlicht von je 10 Untersuchungen wieder. Wie ersichtlich, handelt es sich entsprechend den Reizbedingungen um 2 ganz verschiedene Kurventypen. Die Weiss-Kurve zeigt den Typus des Adaptationsverlaufes des Dämmerungsapparates mit dem anfänglich steilen, allmählich flacher werdenden Abfall, der bis zur 45. Minute andauert. Die Empfindlichkeit des Dämmerungsapparates nimmt dabei um das ca. 20,000 fache zu. Die Rot-Kurve dagegen weist nur bis zur 4. Minute einen steilen, dann nahezu wagerechten Verlauf auf. Dies entspricht der Dunkelanpassungsfähigkeit des Tagesapparates. Der Empfindlichkeitszuwachs beträgt im Ganzen nur das 10 bis 20 fache der anfänglich gemessenen Werte. Der am Ende dieser Kurve auftretende weitere leichte Abfall beruht auf Einflüssen, die später besprochen werden sollen.

Berechnung der Ergebnisse.

Die Berechung der Messresultate erfolgte an Hand der am Adaptometer abgelesenen Skalenteile. Eine Umrechnung in *absolute* Werte der jeweiligen Lichtintensitäten erfolgte nicht, da es ja nur auf die Relationen zwischen den Zahlen ankam. Jedoch kann der absolute Schwellenwert für jede einzelne Messung mit Hilfe der durch die Eichung festgestellten absoluten Lichtintensität leicht errechnet werden.

Da es bei beiden Versuchsreihen galt, das Verhältnis der monokularen Schwellengrössen zu den binokularen festzustellen, wurde jeweils der Mittelwert der Schwellenreizlichtintensität des rechten und linken Auges errechnet und mit dem entsprechenden binokularen Wert verglichen, indem folgender

Bruch gebildet wurde: $\frac{\text{Monokularer Mittelwert.}}{\text{Binokularer Wert.}}$ Diese Verhältniszahl wurde für jede der 13 Bestimmungen einer jeden Untersuchung für sich berechnet.

Da die binokulare Schwelle jeweils zuletzt gemessen wurde, war die Möglichkeit gegeben, dass diese niedriger gefunden wurde, als die monokulare, weil in der Zwischenzeit die Empfindlichkeit der Augen zugenommen hatte, und nicht, weil eine binokulare Summation vorlag. Besonders in den ersten Minuten nach Beginn der Dunkeladaptation kann dies eintreten. Es musste also diese Fehlermöglichkeit bei der Auswertung der Messungen berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck wurden die binokularen Schwellen jeder Vp. in Kurvenform aufgezeichnet und durch Interpolation die dem Zeitpunkt der monokularen Bestimmungen entsprechenden Werte ermittelt. Die binokulare Messung wurde durchschnittlich 24 Sekunden nach dem zeitlichen Mittelwert der beiden monokularen Bestimmungen vorgenommen. Die binokularen Werte wurden daher um 24 Sekunden interpoliert. — Dieses Verfahren war für die Bestimmungen in der ersten Minute nicht anwendbar. Es wurden daher die in der 1. Minute gewonnenen Messresultate vernachlässigt und nicht zur Beurteilung herangezogen.

Mit den auf diese Weise »zeitlich korrigierten« binokularen Werten wurde nun der vorhin erwähnte Bruch

$$\frac{\text{monokularer Mittelwert}}{\text{zeitlich korrig. binok. Wert}}$$

gebildet. Mittels der so für jede einzelne Bestimmung für sich errechneten Verhältniszahlen wurde für die 11 Untersuchungen des Dämmerungsapparates und die 11 des Tagesapparates je eine Mittelwertskurve aufgestellt (s. Abb. 2). Die ausgezogene Kurve ist die Mittelwertskurve der aus $\frac{\text{monokularer Mittelwert}}{\text{korrig. binokularer Wert}}$ sich ergebenden Verhältniszahlen von 11 Untersuchungen des Dämmerungsapparates, die gestrichelte Kurve kommt zustande durch die entsprechende Berechnung der 11 Untersuchungen des Tagesapparates.

Auswertung der Ergebnisse.

Der Verlauf dieser Mittelwertskurven zeigt für den Dämmerungsapparat eine relativ rasche Zunahme der Summationsfähigkeit von der 4. Minute (die monokulare Schwelle liegt hier nur um das 1,2 fache höher als die binokulare) bis zur etwa 13. Minute (die monokulare Schwelle beträgt das 1,75 fache der binokularen). Von der 13. bis zur 45. Minute tritt nur noch eine geringgradige Erhöhung ein (bis auf das 1,99 fache).

Fasst man die Werte aller Zeitpunkte zusammen, so ergibt sich für den Dämmerungsapparat eine durchschnittliche binokulare Reizsummation um das 1,68 fache der monokularen Schwelle.

Anm. Wieviel die zeitliche Korrektur der binokularen Werte für die Berechnung dieses Verhältnisses ausmacht, geht daraus hervor, dass derselbe Gesamtdurchschnitt mit zeitlich n i c h t korrigierten binokularen Werten errechnet eine scheinbare binokulare Summation um das 2,13 fache der monokularen Schwelle ergibt.

Auf einen weiteren Punkt bei der Beurteilung solcher Versuche, die zur Prüfung der Summation vorgenommen werden, muss noch näher eingegangen werden, da sich hier leicht Fehler in die Berechnung einschleichen können: Hat man nur e i n e Untersuchung der monokularen und binokularen Schwellenwerte ausgeführt, so ist man berechtigt, die erhaltenen Resultate ohne weiteres in Kurvenform aufzuzeichnen und bekommt so g l e i c h z e i t i g ein Bild des Adaptations v e r l a u f e s und des V e r h ä l t n i s s e s der monokularen zu den binokularen Schwellenwerten. Als Beispiel sind in Abb. 3 die Kurven einer Vp. für Prüfung mit Rot- und Weisslicht wiedergegeben. Nicht aber ist ein solches Verfahren angängig, wenn es sich um M i t t e l w e r t skurven handelt. Dabei ist es nur zulässig, entweder eine Durchschnittsberechnung der in jedem Zeitpunkt gefundenen Schwellenwerte zu machen: dann erhält man ein Bild des durchschnittlichen V e r l a u f e s der Adaptation und kann eine dementsprechende Kurve zeichnen, die aber n i c h t s aussagt über eine etwa vorhandene Summation. Oder aber man berechnet die Durchschnitte der jeweiligen Verhältniszahlen zwischen monokularen und binokularen Schwellenwerten für jeden Zeitpunkt und trägt diese dann in Kurvenform auf. Diese Kurve gibt dann jedoch kein Bild des Adaptationsv e r l a u f e s, sondern nur ein Bild davon, wie sich die monokularen Schwellen in jedem untersuchten Zeitpunkt zu den binokularen verhalten haben. Dies letztere Verfahren wurde bei der hier erfolgten Berechnung der Ergebnisse angewandt, da es ja auf die Darstellung dieser Verhältnisse ankam.

Vermischt man aber bei Durchschnittsberechnungen diese beiden

Dinge miteinander, indem man etwa für jeden Zeitpunkt die durchschnittliche Höhe der monokularen und binokularen Schwellen berechnet und dann aus den so erhaltenen Schwellen mittel werten für jeden Zeitpunkt die Verhältniszahl zwischen beiden ermittelt, also:

$$\frac{\text{Mittelwert der monokularen Mittelwerte,}}{\text{Mittelwert der binokularen Werte}}$$

so erhält man ein bezüglich dieses Verhältnisses falsches Resultat. Dies wird sofort klar, wenn man die algebraischen Formeln, nach denen die Berechnungen in dem einen und anderen Fall ausgeführt werden, miteinander vergleicht: Es ist

$$\frac{\frac{a_1 + a_2 \ldots + a_n}{n}}{\frac{b_1 + b_2 \ldots + b_n}{n}} \quad (1) \text{ nicht gleich } \frac{\frac{a_1}{b_1} + \frac{a_2}{b_2} \cdots + \frac{a_n}{b_n}}{n} \quad (2)$$

Nur eine Berechnung, die nach Formel (2) vorgenommen wird, kann etwas über das durchschnittliche Verhältnis der Werte a und b zueinander aussagen.

Es musste ausführlich auf diese Fehlerquelle in der Berechnung eingegangen werden, weil in der Literatur nicht immer Rücksicht darauf genommen wurde. Insbesondere ist Tsutui (65) diesem Irrtum zum Opfer gefallen Er hat seine Mittelwertsberechnung nach Formel (1) ausgeführt und erhält auf diese Weise falsche, und zwar zu kleine Verhältniswerte. Dass dies der Fall ist, geht aus folgendem hervor: Berechnet man aus den hier besprochenen Untersuchungen des Dämmerungsapparates mit unkorrigierten binokularen Schwellenwerten den Gesamtdurchschnitt aller sich ergebenden Verhältniszahlen nach Formel (2), also richtig, so erhält man, wie oben erwähnt, den Summationsfaktor 2,13; berechnet man den Durchschnitt aber nach Formel (1), also falsch, so ergibt sich nur der Faktor 1,72, also ein wesentlich niedrigerer Wert. — Wenn also Tsutui in seiner Arbeit keine Summation feststellen konnte, so ist sein Ergebnis, soweit es sich auf die durchschnittlichen Werte bezieht, als nicht einwandfrei anzusehen. Damit ist natürlich nicht gesagt, dass seine Feststellung des Fehlens einer Summation durch Korrektion dieses Berechnungsfehlers hinfällig würde.

Die Schwankungen, die in der »Summationskurve« des Dämmerungsapparates in der 10., 19. und 22. Minute zum Ausdruck kommen, sind wahrscheinlich durch Zufall bedingt und eine Folge der verhältnismässig kleinen Versuchszahl. Auf Grund dieser Kurve erscheint es jedenfalls berechtigt, zu sagen, dass bei Prüfung der Lichtempfindlichkeit mit »weissem« Licht unter den genannten Bedingungen (Vorbelichtung, Mydriasis etc.) die binokulare Summation in den ersten Minuten geringgradig ist

und dann allmählich ansteigt, sodass gegen Ende der Adaptation die binokulare Empfindlichkeit fast doppelt so gross ist, als die monokulare.

Nach den Anschauungen von *Kohlrausch* (30) funktionieren Tages- und Dämmerungsapparat im Zustand der Schwellenerregung völlig getrennt; dementsprechend hat *Kohlrausch* auch eine Unstetigkeit des Adaptationsverlaufes in Form eines scharfen Kurvenknickes beim Uebergang der Funktion des Schwellensehens vom Tagesapparat auf den Dämmerungsapparat festgestellt. Hiernach wäre es unter der Annahme, dass der Tagesapparat nicht zu summieren vermag, der Dämmerungsapparat aber diese Fähigkeit besitzt, zu erwarten gewesen, dass in diesem Zeitpunkt des Funktionswechsels auch eine *plötzliche* Aenderung der Verhältnisse bezüglich der Summation eintreten würde. In der wiedergegebenen Summationskurve zeigt sich aber keine derartige Unstetigkeit. Dies könnte nun darauf beruhen, dass der Tagesapparat mit der verwendeten Untersuchungsmethodik garnicht mehr erfasst wurde, sondern dass der Dämmerungsapparat von der 4. Minute ab schon der alleinige Träger der Funktion war. Wenn dies der Fall wäre, so liesse sich die Kurve nur so deuten, dass der Dämmerungsapparat erst *allmählich* im Laufe der Dunkelanpassung die Fähigkeit der Summation entwickelt.

Es muss aber betont werden, dass die Ansicht über die vollständig getrennte Tätigkeit der beiden Sehapparate im Bereiche des Schwellensehens als Hypothese aufzufassen ist, und dass die Annahme berechtigt erscheint, dass auch hier beide Apparate nicht völlig getrennt funktionieren, wenn auch nicht in dem Masse, wie beim Sehen überschwelliger Reize. Die allmähliche Zunahme der Summation im Laufe der Dunkeladaptation liesse sich dann so erklären, dass die Fähigkeit zu summieren, die der Dämmerungsapparat besitzt, im Beginn der Dunkelanpassung sehr stark und dann im weiteren Verlaufe in allmählich abnehmendem Masse durch den Tagesapparat in *hemmendem* Sinne beeinflusst wird. Es wäre dann anzunehmen, dass der Tagesapparat, obwohl er allem Anschein nach zur Wahrnehmung des Schwellenreizes nicht mehr beiträgt, doch noch längere Zeit hindurch in einem gewissen Erregungszustand sich befindet und dadurch auf die Funktion des Dämmerungsapparates bezüglich der Summation von Einfluss ist.

Für die Richtigkeit dieser letzten Annahme sprechen die Ergebnisse, die bei der Untersuchung der Dunkeladaptation mit *Rot*licht erhalten wurden. Die gestrichelte Linie in Abb. 2 gibt von 11 Untersuchungen die Durchschnittsverhältnisse der monokularen zur binokularen Schwelle im Verlauf der Dunkelanpassung bei Reizung mit Rotlicht wieder. Man sieht aus dem Kurvenverlauf, dass diese Werte sehr nahe an 1 liegen, und dass sie nur gegen Ende der Adaptation, etwa von der 35. Minute ab, ansteigen, um im Maximum 1,36 zu erreichen. Der Gesamtdurchschnitt aller Verhältniswerte ergibt 1,14.

Zu diesen Ergebnissen ist zunächst zu sagen, dass das verwendete Filter zwar seine Hauptdurchlässigkeit im Gebiete von 788 mμ Wellenlänge hatte, damit aber, wie auch aus der Durchlässigkeitskurve hervorgeht, nicht scharf abschnitt, sondern in geringem Masse auch noch kürzerwelliges Licht durchliess. Die Folge davon war, dass die Schwellenreize nur etwa in der ersten Hälfte der Dunkeladaptationsprüfung farbig (rot) erschienen, während die Reizlichter später farblos die Schwelle erreichten. Die Umschlagsstelle von roter zu farbloser Schwelle lag durchschnittlich bei der 22. Minute. Es wurde also nur bis zur 22. Minute der Tagesapparat untersucht, in der 2. Hälfte der Dunkelanpassung dagegen wurden die Schwellenreize trotz des Rotfilters durch den *Dämmerungs*apparat wahrgenommen. Aus der Mittelwertskurve für rotes Reizlicht und dem bisher darüber Gesagten geht hervor, dass *der Tagesapparat die Fähigkeit der Summation entweder überhaupt nicht oder nur in sehr geringem Masse besitzt.*

Anm. Um einen Ueberblick darüber zu gewinnen, inwieweit das verschiedene Verhalten des Dämmerungs- und Tagesapparates gegenüber der Reizsummierung, wie es aus den gefundenen Resultaten hervorgeht, einer Gesetzmässigkeit unterliegt und nicht nur durch Zufallsbefunde bedingt ist, wurde eine Fehlerberechnung angestellt. Zu diesem Zweck wurde der variationsstatistische Faktor k nach der Formel: $K = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m^2_1 - m^2_2}}$ berechnet. Ueber die Bedeutung dieses Faktors und seine rechnerische Anwendung haben sich kürzlich H. K. Müller u. Rintelen (42) ausführlich geäussert, und es erübrigt sich daher, darauf näher einzugehen. Wird k für 2 Versuchsreihen grösser als 3 gefunden, so ist dies ein Zeichen dafür, dass die experimentell ermittelten Unterschiede zwischen beiden Versuchsreihen nicht zufällig bedingt sind, sondern grundsätzlich zu Recht bestehen. K wurde

in den hier geschilderten Versuchen für jede der 13 Bestimmungen für sich berechnet und zwar wurde dazu, wie auch für Berechnung der »Summationskurven«, die jeweils ermittelten Verhältniszahlen des monokularen zum binokularen Schwellenwert verwendet. Die für k in jedem Zeitpunkt gefundenen Werte sind in Tab. III eingetragen. Es geht daraus hervor, dass k im Allgemeinen nahe bei 3, teilweise sogar über 3 liegt. Nur für die Bestimmungen der 4. Minute hat k einen sehr kleinen Wert, woraus hervorgeht, dass bezüglich der Summationsfähigkeit in diesem Zeitpunkt bei Reizung mit weissem Licht und mit rotem Licht kein grundsätzlicher Unterschied besteht. Unter beiden Versuchsbedingungen ist hier die Summationsfähigkeit nur sehr gering. Auf eine Berechnung des mittleren Fehlers von σ, des Masses der Streuung, wie sie bei kleinen Versuchsreihen zur Ermittlung von k erwünscht ist, wurde zunächst verzichtet. — Aus der angestellten Fehlerberechnung geht hervor, dass die Unterschiede in der Summationsfähigkeit, wie sie bei Reizung mit weissem Licht und mit rotem Licht gefunden wurden, nicht als zufällig bedingt, sondern als einer Gesetzmässigkeit entsprechend angesehen werden können.

Ob der Tagesapparat eine geringgradige oder keine Summationserscheinung zeigt, kann nur durch eine wesentlich grössere Zahl von Untersuchungen entschieden werden. Dieser Befund der fehlenden oder nur schwachen Summation im Tagesapparat steht in guter Uebereinstimmung mit den Ergebnissen, die andere Autoren mit anderen Methoden gefunden haben (s. Literaturbesprechung).

Auffallend an der Mittelwertskurve für rotes Reizlicht ist ihr Verhalten nach der 22. Minute. Von diesem Zeitpunkt ab erschienen die Schwellenreize, wie schon gesagt, für gewöhnlich farblos, sie mussten also nach allem, was wir hierüber wissen, durch den Dämmerungsapparat vermittelt sein. Trotzdem erfolgte erst von der 30. Minute ab eine ganz allmähliche Zunahme der Summationsfähigkeit. In der 40. und 45. Minute beträgt diese Summationswirkung erst das 1,36, bezw. 1,26 fache des monokularen Schwellenwertes, während bei Prüfung mit Weisslicht die entsprechenden Faktoren 1,83 und 1,99 sind. Obwohl also auch bei der Reizung mit rotem Licht in diesen Zeitpunkten der *Dämmerungs*apparat funktionierte, und zwar im Zustand fast maximaler Empfindlichkeit, besass er doch nur eine geringe Fähigkeit der Summation, die der Grössenordnung nach ungefähr den Werten entspricht, wie sie bei Reizung mit weissem Licht zwischen der 4. und 7. Minute zu finden sind. Die Erscheinung, dass der Dämmerungsapparat gegen Ende der

Dunkeladaptation bei Reizung mit dem verwendeten roten Licht nur eine geringe Summationsfähigkeit zeigt, kann nicht mit einem allmählichen in Funktiontreten dieses Apparates erklärt werden, wie es für das allmähliche Ansteigen der Summation in den ersten 13 Minuten bei Reizung mit Weisslicht möglich zu sein schien. Hierbei lief ja die Zunahme der Summation dem Ansteigen der Empfindlichkeit ungefähr parallel. Der Dämmerungsapparat hat indessen in der 40. und 45. Minute bereits einen nahezu konstanten Empfindlichkeitszustand erreicht, dem bei Reizung mit weissem Licht ja auch eine starke Summationsfähigkeit entspricht.

Die geringe Summationsfähigkeit des Dämmerungsapparates 1. im Beginn des Dunkelaufenthaltes bei Untersuchung mit weissem Reizlicht und 2. bei Reizung mit Rotlicht von schwachem Dämmerwert gegen Ende der Dunkeladaptation muss auf eine gemeinsame Ursache zurückgeführt werden. Diese ist wahrscheinlich darin zu sehen, dass in beiden Fällen jeweils die Schwellen des Tages- und Dämmerungsapparates verhältnismässig nahe beieinander liegen. — Bei der Reizung mit Weisslicht betrug die Schwellenintensität in der 4. Minute 0,007 Lux, eine Lichtstärke also, die nicht allzuweit entfernt ist von der, die der Tagesapparat gerade noch wahrnehmen kann. Dass die Schwellen auch bei Reizung mit Rotlicht nach dem Auftreten des farblosen Intervalls nahe beieinander lagen, geht daraus hervor, dass nach Verschwinden der roten Farbempfindung des Reizlichtes (Schwelle des Tagesapparates) dieses durchschnittlich nur um das 1,9 fache abgeschwächt zu werden brauchte, um auch für den Dämmerungsapparat zum Schwellenreiz zu werden.

Aus dem Verlauf beider Mittelwertskurven geht weiterhin hervor, dass die Fähigkeit der Summation umso stärker ausgeprägt ist, je weiter die Reizschwellen der beiden Apparate auseinander liegen. — Bei der Reizung mit Weisslicht unterscheiden sich zufolge den Untersuchungen von *Kohlrausch* (30) und *G. Matthey* (36) die Schwellenreizlichtintensitäten in der 45. Minute für den Tages- und Dämmerungsapparat um das etwa 1000 fache. Dementsprechend wurde in diesem Zeitpunkt eine sehr ausgeprägte Summation (1,99) gefunden. Bei der Reizung mit dem beschriebenen Rotfilter lagen aber in der 45. Minute die Schwellen beider Apparate nur etwa um das 2 fache ihrer Licht-

stärke auseinander. Dies liess nur eine geringgradige Summation (1,26) zu. Liegen beide Schwellen noch näher aneinander, wie in der 25. und 30. Minute, so war eine für den Dämmerungsapparat charakteristische Summation überhaupt nicht festzustellen.

Entsprechend dem raschen Auseinanderweichen der Empfindlichkeitsschwellen beider Apparate in etwa den ersten 15 Minuten der Dunkeladaptation bei weissem Reizlicht nimmt auch die Summationsfähigkeit des Dämmerungsapparates in dieser Zeit rasch zu, während bei Reizung mit Rotlicht die Reizlichtschwellen sich nach Auftreten des farblosen Intervalls nur langsam und wenig voneinander entfernen, was sich in dem gleichzeitigen, ebenfalls langsamen und geringen Anstieg der Summationsfähigkeit des Dämmerungsapparates widerspiegelt.

Es lassen sich also aus den beiden Kurven 2 Gesetzmässigkeiten ablesen:

1. Die Fähigkeit des Dämmerungsapparates zur Summierung binokularer Reize ist umso grösser, je weiter die Schwellen des Tages- und Dämmerungsapparates auseinander liegen. Dabei spielt es keine Rolle, in welchem Zustand der Adaptation beide Apparate sich befinden.
2. Die Geschwindigkeit, mit der die Summationsfähigkeit des Dämmerungsapparates wächst, geht ungefähr parallel der Geschwindigkeit, mit der der Unterschied in der Schwellenerregbarkeit beider Apparate zunimmt.

Theoretische Deutung der Versuchsergebnisse.

Um diese experimentell gefundenen Tatsachen theoretisch zu deuten, erscheint es notwendig, sich über den Zustand beider Sehapparate Klarheit zu verschaffen, in dem sie sich befinden, wenn mit einem Reizlicht gereizt wird, das für den Tagesapparat »unterschwellig« ist, für den Dämmerungsapparat aber einen Schwellenreiz darstellt. Soweit wir wissen, entspricht wohl die Anschauung von *Kohlrausch* (30), dass »beim schwellenmässigen Sehen stets derjenige Apparat die Funktion allein übernimmt, der die jeweils niedrigere Schwelle hat«, den Tatsachen. Es ist aber anzunehmen, dass in einem solchen Fall das Reizlicht nicht nur auf die photosensible Substanz des Däm-

merungsapparates, d. h. den Sehpurpur einwirkt, sondern sie wird, wenn auch voraussichtlich nur in sehr geringem Masse, auch mit der lichtempfindlichen Substanz des Zapfenapparates photochemisch reagieren. Die durch diese Reaktion hervorgerufenen Erregungen sind aber so gering, dass sie nicht ausreichen, um zu einer Wahrnehmung durch den Zapfenapparat führen zu können, d. h. die diese Reaktion auslösenden Lichtmengen sind für das Sehen des Tagesapparates *unterschwellig.*

Liegt nun die Schwelle des Dämmerungsapparates nur geringgradig niedriger als die des Tagesapparates, so werden durch das für den Dämmerungsapparat »schwellenmässige« Reizlicht in den Zapfen photochemische Umsetzungen ausgelöst werden, die so gross sind, dass sie beinahe auch zu einer Wahrnehmung durch den Zapfenapparat hinreichen. Diese nur wenig unterschwelligen Erregungen des Tagesapparates müssen als Ursache angesehen werden dafür, dass der Dämmerungsapparat in seiner Summationsfähigkeit beeinträchtigt wird, wenn die Schwelle des Tagesapparates nahe an der des Dämmerungsapparates liegt.

Dass es sich hierbei um eine tatsächliche *Hemmung* handelt, geht, wie schon gesagt, aus den Versuchen mit dem einen schwachen Dämmerwert besitzenden Rotlicht hervor. Bei fast maximaler Dunkeladaptation der Augen konnten die geringen kurzwelligen Lichtmengen, die das Filter durchliess, für den Dämmerungsapparat gerade noch einen Schwellenreiz darstellen, während gleichzeitig derTagesapparat durch die verhältnismässig reichliche Menge langwelligen roten Lichtes weitgehend »unterschwellig« erregt wurde. Diese unterschwellige Erregung des Tagesapparates muss dazu geführt haben, dass der Dämmerungsapparat, obwohl er sich im Zustande fast maximaler Dunkeladaptation befand, nur geringgradig zu summieren vermochte. Auf welche Art und Weise und an welchem Orte diese unterschwelligen Erregungsprozesse des Tagesapparates ihre hemmende Wirkung entfalten, lässt sich nicht mit Bestimmtheit sagen. Da es sich dabei um Prozesse handelt, die durch das Zusammenwirken von Vorgängen in beiden Augen entstehen, kann der Ort der Hemmung nicht peripher von den primären Sehzentren angenommen werden. Andererseits muss die Hemmung aber vor den höheren optischen Zentren angrei-

fen, da sie ja das Zustandekommen einer Empfindung verhindert.

Die beschriebenen Untersuchungen zeigen also, dass auch im Bereich der Schwellenwahrnehmung Dämmerungsapparat und Tagesapparat nicht völlig unabhängig voneinander funktionieren. Die Anschauungen von *Kohlrausch* bedürfen deshalb wohl in dieser Richtung einer Korrektur; denn die Hemmung der Summierungsfähigkeit des Dämmerungsapparates bedeutet ja eine Beeinträchtigung seiner Fähigkeit, Schwellenreize wahrzunehmen: Eine Vp, die im Zustande maximaler Dunkeladaptation binokular einen Schwellenreiz gerade noch, monokular aber nicht mehr wahrnehmen kann, wird aller Voraussicht nach auch binokular den Schwellenreiz nicht mehr sehen können, wenn man mit absolut dämmerwertfreiem Rotlicht den Tagesapparat gleichzeitig unterschwellig erregt.

Anhang.

Es sei noch kurz auf einige Beobachtungen hingewiesen, die bei der Durchführung der Untersuchungen gemacht werden konnten. — So war es auffallend, dass einige Vpn. bei den Untersuchungen mit Rotlicht von schwachem Dämmerwert in der Zeit des Auftretens des farblosen Intervalles eigentümliche Erscheinungen wahrnahmen. Diese wurden zum Teil als ein Schwanken der durch den Schwellenreiz ausgelösten Lichtempfindung zwischen rot und farblos beschrieben, zum Teil als ein undefinierbares Unsicherheitsgefühl bezüglich der Farbqualität des Reizlichtes. Es schien nach den Beschreibungen dieser Vpn. einmal der Tagesapparat, einmal der Dämmerungsapparat zu überwiegen, sodass man diese Erscheinung als eine Art »Wettstreit« beider Sehapparate auffassen könnte.

Ferner ist zu erwähnen, dass alle Vpn. angaben, bei Reizung mit Rotlicht eine »Ermüdung« ihrer Augen zu verspüren, sodass sie z. B. nach kurzem Schliessen der Augen einen Reiz als Schwellenreiz wieder wahrnehmen konnten, der vorher durch die auftretende Ermüdung unterschwellig geworden war. Bei Reizung mit weissem Licht machte keine der Vp eine ähnliche Beobachtung.

Unter den Vpn. befanden sich 3 Myope, von denen eine mit

einer Myopie von nur 3 dptr eine auffallend geringe Adaptationsfähigkeit besass (s. Tab. I, 11). Bei Reizung mit weissem Licht lagen während des ganzen Adaptationsverlaufes ihre Schwellenwerte um etwa das 10fache höher, als die entsprechenden Durchschnittswerte. Es ist dies eine Bestätigung für das von verschiedener Seite schon festgestellte gemeinsame Vorkommen von Myopie und mangelhafter Adaptationsfähigkeit. Bemerkenswert ist, dass die Summationsfähigkeit des Dämmerungsapparates bei dieser Vp. nicht beeinträchtigt war.

Eine der mit Rotlicht untersuchten Vpn. konnte am Anomaloskop als deuteranop festgestellt werden. Seine Schwellenwerte lagen im Bereich des Tagesapparates sehr hoch (Tab. II, 11), was vielleicht eine Folge des geringen Reizwertes sehr langwelliger Lichter für den Deuteranopen ist. Die Schwellenwerte gegen Ende der Dunkelanpassung, die durch den Dämmerungsapparat vermittelt wurden, waren auffallend niedrig. Der Adaptationsverlauf dieser Vp. bei Prüfung mit weissem Reizlicht zeigte kein Abweichen von der Norm.

Zusammenfassung.

Nach einem ausführlichen Ueberblick über die in der Literatur bekannten Untersuchungen der Reizsummation bei binokularer Beobachtung von Schwellenreizen werden eigene Untersuchungen über die Summationsfähigkeit des Tages- und Dämmerungsapparates mitgeteilt. Der Tagesapparat wurde mit rotem Reizlicht von 10^0 Winkelgrösse untersucht.

Die Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

1. Der Dämmerungsapparat besitzt für Schwellenreize in ausgesprochenem Masse die Fähigkeit zur binokularen Reizsummation.
2. Dem Tagesapparat kommt diese Fähigkeit dagegen überhaupt nicht oder nur in sehr geringem Masse zu.
3. Der Dämmerungsapparat vermag nicht in jedem Zeitpunkt der Dunkeladaptation gleich stark zu summieren. Zu Beginn des Dunkelaufenthaltes unterscheiden sich monokulare und binokulare Schwellenwerte kaum voneinander, während nach 45 Minuten Dunkeladaptation die monokulare Schwelle fast doppelt so hoch liegt, wie die binokulare.

4. Die allmähliche Zunahme der Summationsfähigkeit des Dämmerungsapparates geht parallel der Vergrösserung des zwischen der Empfindlichkeitsschwelle des Dämmerungsapparates und der des Tagesapparates sich allmählich ausbildenden Unterschiedes. Je weiter die Schwellen beider Apparate voneinander entfernt liegen, desto grösser ist die Summationsfähigkeit des Dämmerungsapparates.
5. Bei Untersuchung mit Rotlicht von schwachem Dämmerwert vermag der Dämmerungsapparat, wenn er infolge eines auftretendes farblosen Intervalles zum Träger der Funktion des Schwellensehens wird, nur geringgradig zu summieren gegenüber der bei Reizung mit Weisslicht im gleichen Adaptationszustand sich ergebenden Summationsfähigkeit.
6. Die Ursache der unter 4) und 5) genannten Erscheinungen wird in einer *Hemmung* der Fähigkeit des Dämmerungsapparates, binokulare Reize zu summieren, durch im Tagesapparat unterschwellig ablaufende Erregungen gesehen. Da diese unterschwelligen Erregungen umso grösser sind, je näher die Schwellen beider Apparate beieinander liegen, muss die Hemmung durch den Tagesapparat sich, je nach der Lage der Schwellen zueinander, stark oder schwach auf die Reizsummierung des Dämmerungsapparates auswirken.
7. Tages- und Dämmerungsapparat stehen demnach auch unter den Bedingungen der Schwellenerregung in einem funktionellen Zusammenhang.

Es ist mir ein aufrichtiges Bedürfnis, Herrn Priv. Doz. Dr. *H. K. Müller* für seine fördernden Ratschläge und die freundliche Unterstützung, die er mir bei Ausführung dieser Untersuchungen zuteil werden liess, an dieser Stelle meinen herzlichen Dank auszusprechen.

Tabelle I.

Relative Reizwerte bei Reizung mit weissem Licht.

Vp. 1.

Min.	Reehtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	4 800 000	4 000 000	960 000	4 400 000		
4	880 000	740 000	200 000	810 000	310 000	2,61
7	600 000	480 000	160 000	540 000	166 000	3,25
10	380 000	240 000	180 000	310 000	178 000	1,80
13	80 000	80 000	95 000	80 000	106 500	0,75
16	65 000	48 000	15 600	56 500	28 500	1,98
19	6 000	6 500	3 750	6 250	5 350	1,17
22	1 850	2 180	1 600	2 015	1 900	1,06
25	1 800	1 400	800	1 600	910	1,75
30	450	400	80	425	137	3,10
35	250	280	110	265	108	2,45
40	180	220	90	200	92	2,17
45	90	210	90	150	90	1,67

Vp. 2.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	4 000 000	1 600 000		2 800 000		
4	800 000	400 000	240 000	600 000	270 000	2,22
7	100 000	60 000	20 000	80 000	50 000	1,60
10	5 000	4 000	3 600	4 500	5 800	0,78
13	4 000	3 500	2 100	3 750	2 300	1,63
16	2 300	1 700	1 080	2 000	1 220	1,64
19	520	500	300	510	405	1,26
22	550	590	280	570	283	2,01
25	420	400	270	410	272	1,51
30	150	180	80	165	95	1,74
35	270	120	45	195	48	4,06
40	220	120	50	170	45	3,78
45	160	150	60	155	59	2,63

Vp. 3.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	3 600 000	4 000 000	4 000 000	3 800 000		
4	840 000	720 000	520 000	780 000	1 000 000	0,78
7	320 000	280 000	160 000	300 000	207 000	1,45
10	90 000	90 000	42 000	90 000	58 000	1,55
13	10 000	10 000	5 000	10 000	10 000	1,00
16	4 500	3 500	3 500	4 000	4 500	0,89
19	1 600	1 500	1 150	1 550	1 470	1,05
22	550	550	500	550	590	0,93
25	350	350	150	350	198	1,77
30	250	250	110	250	113	2,21
35	220	220	90	220	92	2,39
40	100	120	70	110	72	1,53
45	100	80	50	90	51	1,76

Monok. Mitt. = Mittelwert beider monokularer Werte.
Binok. korr. = Zeitlich korrigierte binokulare Werte.
Mon/Bin = Verhältnis zwischen monok. Mittelwert und zeitl. korr. binokul. Wert.

Vp. 4.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	8 000 000	4 000 000	1 600 000	6 000 000		
4	640 000	680 000	760 000	660 000	870 000	0,76
7	110 000	130 000	65 000	120 000	156 000	0,77
10	10 000	12 000	2 000	11 000	10 060	1,09
13	4 750	4 000	2 100	4 375	2 090	2,09
16	2 500	2 900	700	2 700	890	3,03
19	700	1 200	400	950	440	2,16
22	400	600	400	500	400	1,25
25	400	450	400	425	400	1,06
30	400	400	400	400	400	1,00
35	350	600	300	475	308	1,54
40	300	600	400	450	392	1,15
45	250	500	200	375	216	1,74

Vp. 5.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	12 000 000	4 000 000	1 600 000	8 000 000		
4	520 000	280 000	80 000	400 000	285 000	1,40
7	50 000	22 000	18 000	36 000	27 000	1,33
10	8 000	8 000	4 400	8 000	5 900	1,36
13	1 900	900	700	1 400	930	1,51
16	700	1 100	500	900	530	1,70
19	400	600	190	500	232	2,16
22	320	410	210	365	207	1,76
25	350	320	250	335	245	1,37
30	200	190	180	195	186	1,05
35	120	180	100	150	106	1,42
40	200	220	150	210	145	1,45
45	150	200	100	175	105	1,67

Vp. 6.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	9 600 000	4 800 000	4 800 000	7 200 000		
4	1 700 000	920 000	520 000	1 310 000	1 100 000	1,19
7	340 000	160 000	84 000	250 000	144 000	1,74
10	18 000	10 000	4 400	14 000	9 800	1,43
13	22 000	5 500	3 250	13 750	3 400	3,16
16	2 900	4 000	1 300	3 450	1 560	2,21
19	1 400	1 400	700	1 400	780	1,79
22	800	900	500	850	725	1,16
25	550	800	450	675	412	1,64
30	120	250	70	185	100	1,85
35	280	450	200	365	190	1,92
40	280	450	180	365	182	2,05
45	210	410	100	310	107	2,90

Vp. 7.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	5 440 000	2 800 000	3 040 000	4 120 000		
4	520 000	572 000	600 000	546 000	920 000	0,59
7	168 000	360 000	200 000	264 000	270 000	0,91
10	28 000	52 000	24 000	40 000	46 000	0,89
13	8 000	8 000	6 000	8 000	8 400	0,95
16	4 500	2 100	1 900	3 300	2 700	1,22
19	1 280	1 600	700	1 440	865	1,66
22	620	1 200	250	910	310	2,94
25	710	810	320	760	310	2,45
30	250	310	150	280	164	1,71
35	700	680	320	690	306	2,25
40	220	200	210	210	220	0,95
45	200	310	160	255	164	1,55

Vp. 8.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	6 400 000	5 200 000	4 000 000	5 800 000		
4	340 000	440 000	240 000	390 000	750 000	0,52
7	100 000	50 000	32 000	90 000	60 000	1,50
10	20 000	7 000	4 400	13 500	8 200	1,63
13	2 000	1 800	900	1 900	1 380	1,38
16	220	700	100	460	210	2,19
19	350	100	80	225	83	2,71
22	190	140	100	165	97	1,70
25	220	380	70	300	74	4,05
30	110	100	50	105	51	2,06
35	80	75	70	77	69	1,12
40	80	100	45	90	46	1,96
45	80	50	20	65	22	2,95

Vp. 9.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	1 600 000	400 000	400 000	1 000 000		
4	560 000	360 000	360 000	460 000	366 000	1,26
7	220 000	156 000	124 000	188 000	156 000	1,21
10	115 000	36 000	15 800	75 500	30 000	2,50
13	13 800	12 600	4 000	13 200	5 600	2,36
16	2 400	3 750	1 220	3 075	1 600	1,92
19	800	1 180	900	990	945	1,05
22	390	1 220	410	805	475	1,69
25	320	690	310	505	325	1,52
30	380	780	420	580	410	1,41
35	200	290	180	245	200	1,23
40	170	400	90	285	97	2,93
45	250	250	160	250	154	1,62

Vp. 10.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	800 000	400 000	600 000	600 000		
4	200 000	260 000	180 000	230 000	236 000	0,97
7	76 000	70 000	24 000	73 000	45 000	1,62
10	3 600	6 000	2 000	4 800	5 000	0,96
13	1 800	1 490	930	1 645	1 080	1,52
16	360	600	320	480	400	1,20
19	280	650	310	465	312	1,46
22	190	320	130	255	154	1,66
25	180	290	130	235	130	1,81
30	200	120	60	160	66	2,42
35	150	180	210	165	198	0,83
40	210	210	120	210	127	1,65
45	120	200	70	160	74	2,16

Vp. 11.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	20 800 000	12 000 000	8 800 000	16 400 000		
4	1 360 000	1 800 000	664 000	1 580 000	1 750 000	0,90
7	208 000	340 000	300 000	274 000	347 000	0,79
10	72 000	204 000	44 000	138 000	79 000	1,75
13	70 000	44 000	16 000	57 000	19 800	2,88
16	14 200	13 000	6 000	13 600	7 400	1,84
19	8 000	1 800	3 500	4 900	3 840	1,28
22	8 500	6 750	6 000	7 650	5 660	1,36
25	5 250	5 750	3 750	5 500	4 050	1,36
30	2 100	2 700	2 300	2 400	2 420	0,99
35	1 490	1 300	1 120	1 395	1 210	1,15
40	1 750	1 900	1 180	1 825	1 175	1,55
45	1 500	1 560	1 200	1 530	1 200	1,28

Aus den in dieser Tabelle I mitgeteilten Werten ergeben sich durch Multiplikation mit dem Faktor 1540: 80 000 000 die absoluten Schwellenreizintensitäten in Millilux.

Tabelle II.

Relative Reizwerte bei Reizung mit rotem Licht.

Vp. 1 (dies. wie Vp. 1 w.)*)

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	12 800 000	16 800 000	9 600 000	14 800 000		
4	2 600 000	1 800 000	1 800 000	2 200 000	2 800 000	0,79
7	1 120 000	1 700 000	1 300 000	1 410 000	1 370 000	1,03
10	640 000	1 000 000	800 000	820 000	870 000	0,94
13	880 000	960 000	640 000	920 000	660 000	1,39
16	800 000	1 080 000	840 000	940 000	814 000	1,15
19	1 000 000	1 200 000	840 000	1 100 000	840 000	1,31
22	880 000	880 000	760 000	880 000	770 000	1,14
25	680 000	640 000	720 000	660 000	726 000	0,91
30	600 000	600 000	560 000	600 000	574 000	1,05
35	600 000	680 000	560 000	640 000	560 000	1,14
40	720 000	720 000	520 000	720 000	521 500	1,38
45	360 000	320 000	360 000	340 000	373 000	0,91

Vp. 2 (dies. wie Vp. 2 w.)*)

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	2 000 000	9 600 000		5 800 000		
4	1 400 000	1 400 000	920 000	1 400 000		
7	1 120 000	1 300 000	880 000	1 210 000	890 000	1,36
10	840 000	960 000	640 000	900 000	680 000	1,32
13	760 000	920 000	920 000	840 000	880 000	0,95
16	720 000	960 000	720 000	840 000	750 000	1,12
19	720 000	720 000	800 000	720 000	790 000	0,91
22	640 000	680 000	680 000	660 000	700 000	0,94
25	640 000	680 000	520 000	660 000	540 000	1,22
30	560 000	600 000	480 000	580 000	485 000	1,20
35	320 000	400 000	320 000	360 000	335 000	1,07
40	540 000	600 000	360 000	570 000	355 000	1,61
45	360 000	600 000	240 000	480 000	256 000	1,87

Vp. 3 (dies. wie Vp. 3 w.)*)

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok, Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	8 000 000	8 000 000	8 000 000	8 000 000		
4	2 400 000	2 400 000	2 120 000	2 400 000	2 920 000	0,82
7	2 000 000	2 200 000	2 080 000	2 100 000	2 085 000	1,01
10	2 080 000	2 040 000	2 080 000	2 060 000	2 080 000	0,99
13	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 010 000	0,99
16	2 000 000	1 900 000	1 800 000	1 950 000	1 830 000	1,07
19	1 600 000	1 500 000	1 080 000	1 550 000	1 180 000	1,31
22	1 200 000		1 040 000		1 045 000	
25	960 000	1 080 000	920 000	1 020 000	940 000	1,09
30	880 000	960 000	640 000	920 000	666 500	1,38
35	800 000	880 000	880 000	840 000	860 000	0,98
40	640 000	480 000	280 000	560 000	330 000	1,79
45	480 000	240 000	160 000	360 000	170 000	2,12

*) Die Klammer weist darauf hin, dass es sich jeweils um dieselbe Vp. handelt, wie bei Untersuchung mit weissem Reizlicht.

Vp. 4 (dies. wie Vp. 4 w.)

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	8 000 000	4 800 000	2 400 000	6 400 000		
4	720 000	640 000	1 500 000	680 000	1 620 000	0,42
7	280 000	640 000	880 000	460 000	945 000	0,49
10	840 000	1 040 000	1 200 000	940 000	1 147 000	0,82
13	1 400 000	1 500 000	1 500 000	1 450 000	1 460 000	0,99
16	1 200 000	1 400 000	1 040 000	1 300 000	1 100 000	1,18
19	920 000	1 000 000	1 080 000	960 000	1 074 000	0,89
22	600 000	720 000	680 000	660 000	735 000	0,90
25	520 000	760 000	680 000	640 000	680 000	0,94
30	400 000	440 000	440 000	420 000	460 000	0,91
35	480 000	440 000	360 000	460 000	366 000	1,26
40	640 000	640 000	440 000	640 000	434 000	1,47
45	640 000	640 000	640 000	640 000	624 000	1,03

Vp. 5 (dies. wie Vp. 5 w.)

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	12 800 000	5 600 000	1 600 000	9 200 000		
4	1 800 000	1 700 000	1 200 000	1 750 000	1 260 000	1,39
7	1 200 000	840 000	840 000	1 020 000	890 000	1,15
10	1 120 000	720 000	640 000	920 000	670 000	1,37
13	1 000 000	760 000	560 000	880 000	572 000	1,54
16	960 000	640 000	560 000	800 000	560 000	1,43
19	760 000	680 000	560 000	720 000	560 000	1,29
22	600 000	720 000	540 000	660 000	543 000	1,22
25	600 000	800 000	520 000	700 000	523 000	1,34
30	560 000	560 000	480 000	560 000	484 000	1,16
35	520 000	680 000	440 000	600 000	444 000	1,35
40	480 000	560 000	400 000	520 000	404 000	1,29
45	440 000	480 000	400 000	460 000	400 000	1,15

Vp. 6 (dies. wie Vp. 6 w.)

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	24 000 000	6 400 000	4 000 000	15 200 000		
4	1 900 000	2 400 000	2 000 000	2 150 000	2 260 000	0,95
7	1 500 000	1 800 000	1 400 000	1 650 000	1 480 000	1,11
10	1 600 000	2 000 000	2 000 000	1 800 000	1 920 000	0,94
13	1 400 000	1 900 000	1 320 000	1 650 000	1 410 000	1,17
16	1 160 000	1 400 000	1 200 000	1 280 000	1 217 000	1,05
19	1 120 000	1 320 000	1 000 000	1 220 000	1 028 000	1,19
22	1 200 000	1 320 000	1 040 000	1 260 000	1 034 000	1,22
25	1 160 000	1 400 000	1 040 000	1 280 000	1 040 000	1,23
30	560 000	920 000	520 000	740 000	555 000	1,33
35	520 000	560 000	440 000	540 000	447 000	1,21
40	600 000	600 000	480 000	600 000	474 000	1,27
45	520 000	800 000	600 000	660 000	590 000	1,02

Vp. 7.

Min.	Rechtes A	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	12 000 000	9 600 000	3 200 000	10 800 000		
4	1 600 000	1 400 000	1 320 000	1 500 000	1 575 000	0,95
7	1 300 000	1 200 000	1 200 000	1 250 000	1 220 000	1,02
10	1 400 000	1 500 000	1 300 000	1 450 000	1 290 000	1,12
13	1 000 000	1 120 000	1 080 000	1 060 000	1 110 000	0,95
16	880 000	920 000	920 000	900 000	945 000	0,95
19	880 000	1 200 000	1 000 000	1 040 000	990 000	1,05
22	920 000	1 080 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1,00
25	880 000	1 040 000	880 000	960 000	900 000	1,07
30	800 000	760 000	720 000	780 000	735 000	1,06
35	760 000	800 000	800 000	780 000	795 000	0,98
40	680 000	720 000	660 000	700 000	675 000	1,04
45	560 000	520 000	520 000	540 000	532 000	1,02

Vp. 8.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	3 200 000	3 200 000	3 200 000	3 200 000		
4	2 500 000	2 300 000	1 400 000	2 400 000	1 640 000	1,46
7	1 400 000	2 000 000	2 000 000	1 700 000	1 915 000	0,89
10	1 400 000	2 100 000	1 400 000	1 750 000	1 480 000	1,18
13	1 040 000	1 080 000	1 120 000	1 060 000	1 160 000	0,91
16	800 000	1 080 000	840 000	940 000	875 000	1,07
19	600 000	600 000	680 000	600 000	700 000	0,86
22	320 000	280 000	280 000	300 000	335 000	0,90
25	600 000	520 000	440 000	560 000	418 000	1,34
30	400 000	400 000	440 000	400 000	440 000	0,91
35	480 000	360 000	340 000	420 000	348 000	1,21
40	520 000	440 000	400 000	480 000	395 000	1,22
45	380 000	360 000	320 000	370 000	327 000	1,13

Vp. 9.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	1 600 000	4 000 000	2 800 000	2 800 000		
4	920 000	680 000	480 000	800 000	800 000	1,00
7	840 000	1 080 000	880 000	960 000	825 000	1,16
10	680 000	640 000	520 000	660 000	570 000	1,16
13	480 000	520 000	520 000	500 000	520 000	0,96
16	400 000	440 000	360 000	420 000	382 000	1,10
19	340 000	500 000	360 000	420 000	360 000	1,17
22	360 000	600 000	280 000	480 000	391 000	1,23
25	600 000	520 000	480 000	560 000	452 000	1,24
30	480 000	400 000	360 000	440 000	370 000	1,19
35	600 000	640 000	600 000	620 000	580 000	1,07
40	560 000	560 000	360 000	560 000	380 000	1,47
45	520 000	480 000	480 000	500 000	470 000	1,06

Vp. 10.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1	16 000 000	9 600 000	8 800 000	12 800 000		
4	4 000 000	4 000 000	3 600 000	4 000 000	4 280 000	0,93
7	1 800 000	2 000 000	1 900 000	1 900 000	2 130 000	0,89
10	1 800 000	2 200 000	1 900 000	2 000 000	1 900 000	1,05
13	1 500 000	1 200 000	1 400 000	1 350 000	1 465 000	0,92
16	1 400 000	1 800 000	1 400 000	1 600 000	1 400 000	1,14
19	1 300 000	1 600 000	1 300 000	1 450 000	1 310 000	1,11
22	1 400 000	1 600 000	1 400 000	1 500 000	1 390 000	1,08
25	1 400 000	1 800 000	1 400 000	1 600 000	1 400 000	1,14
30	1 200 000	1 700 000	1 120 000	1 450 000	1 142 000	1,27
35	1 200 000	1 500 000	1 200 000	1 350 000	1 194 000	1,13
40	1 000 000	1 400 000	840 000	1 200 000	870 000	1,38
45	1 000 000	1 600 000	920 000	1 300 000	905 000	1,44

Vp. 11.

Min.	Rechtes A.	Linkes A.	Binokular	Monok. Mitt.	Binok. korr.	Mon/Bin
1						
4	24 000 000	8 000 000	8 000 000	16 000 000		
7	12 800 000	13 600 000	8 000 000	13 200 000	8 000 000	1,65
10	13 600 000	14 400 000	13 600 000	14 000 000	12 800 000	1,09
13	13 600 000	12 000 000	12 000 000	12 800 000	12 200 000	1,05
16	4 800 000	3 600 000	3 600 000	4 200 000	4 760 000	0,88
19	1 800 000	1 400 000	840 000	1 600 000	1 210 000	1,32
22	640 000	720 000	640 000	680 000	665 000	1,02
25	600 000	480 000	600 000	540 000	605 000	0,89
30	560 000	480 000	520 000	520 000	527 000	0,99
35	320 000	280 000	160 000	300 000	188 000	1,60
40	360 000	360 000	360 000	360 000	344 000	1,05
45	320 000	280 000	260 000	300 000	268 000	1,12

Tabelle III.

Durchschnittsverhältniszahlen des monokularen Schwellenreizes zum binokularen, errechnet aus je 11 Untersuchungen, mit den zugehörigen Werten des variationsstatistischen Faktors k.

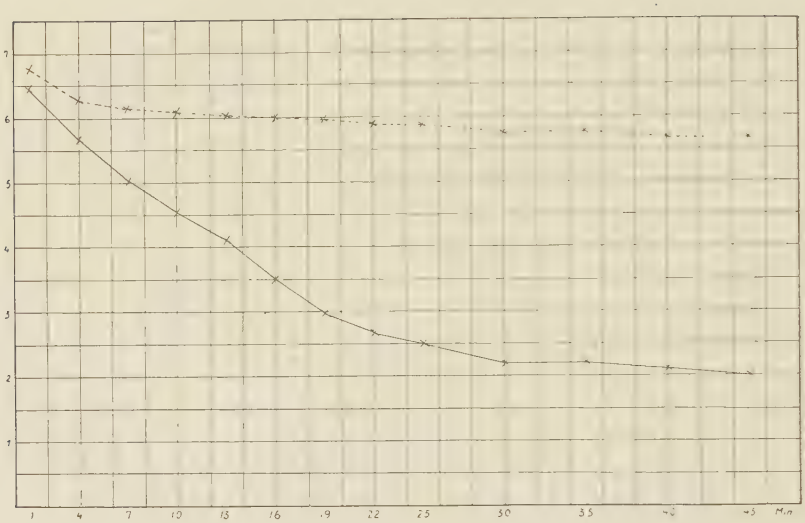
Min.	Weiss	Rot	k
1			
4	1,20	1,11	0,36
7	1,47	1,07	1,73
10	1,43	1,09	2,04
13	1,75	1,07	2,86
16	1,80	1,10	3,67
19	1,59	1,13	2,55
22	1,59	1,07	3,44
25	1,84	1,13	2,71
30	1,87	1,13	3,74
35	1,85	1,18	1,92
40	1,83	1,36	2,08
45	1,99	1,26	3,31

Tabelle IV.

Durchlässigkeit des verwendeten Rotfilters. Extinktionswerte.

Wellenl.	Extinktion	Wellenl.	Extinktion
900	0,42	740	0,60
880	0,40	720	0,83
860	0,37	700	1,28
840	0,35	680	2,00
820	0,33	660	2,50
800	0,32	640	2,80
780	0,35	620	3,00
760	0,45		

Abb. 1.

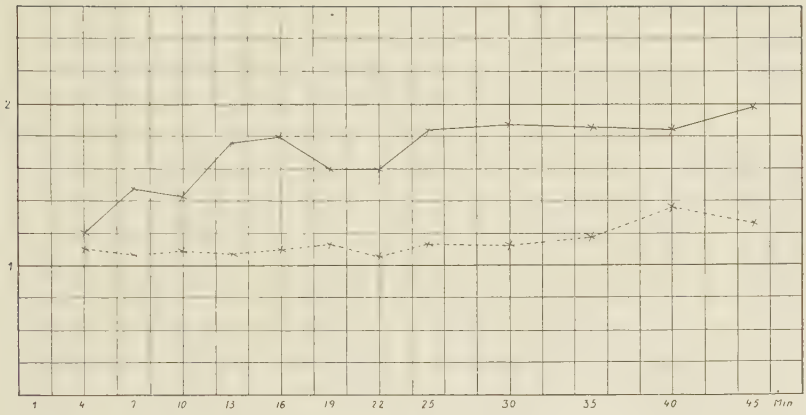


Durchschnittli her Verlauf der Adaptation

------ mit rotem Reizlicht.
——— mit weissem Reizlicht.

Abscisse Zeit.
Ordinate Logarithmen der Blendenöffungen.
Binokulare Beobachtung.

Abb. 2.

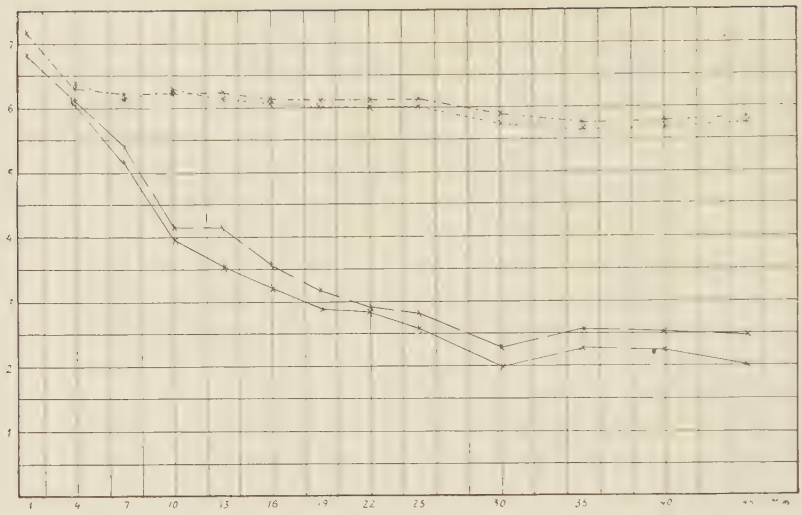


„Summations-Kurven“

——— für weisses Reizlicht.
- - - - - für rotes Reizlicht.

Abscisse Zeit.
Ordinate Durchschnittsverhältnis der monokularen Schwellenwerte zu den binokularen.

Abb. 3.

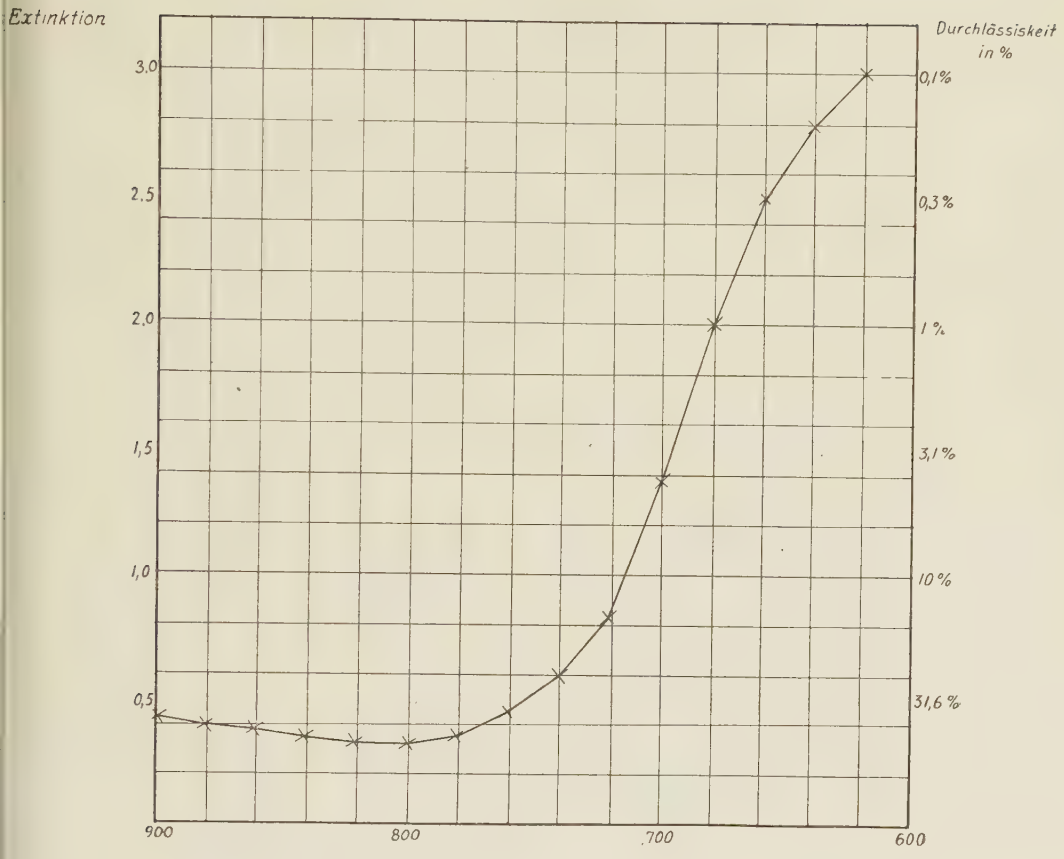


Kurve des Adaptationsverlaufes einer Vp. (Vp.6)
für rotes u. weisses Reizlicht. Monokular u. Binokular.

monok. Mittelw. } rotes Reizlicht.
binokular }
monok. Mittelw. } weisses Reizlicht.
binokular }

Abscisse Zeit.
Ordinate Logarithmen der Blendenöffnungen.

Abb. 4.



Durchlässigkeits-Kurve des verwendeten Rotfilters.

Literatur.

1. **Abney, W. u. Watson, W.:** The Threshold of Vision for different Coloured Lights. 1916 Phil. Trans. Roy. Soc. Bd. 216 S. 91.
2. **Adams, D.:** Dark Adaptation. — Medical Research Counc. Spec. Report Series no 127, 1929.
3. **Aubert, H.:** Physiologie der Netzhaut. — Breslau 1865.
4. **Behr, C.:** Der Reflexcharakter der Adaptationsvorgänge, insbes. der Dunkeladaptation etc. — Gr. Arch. f. O. Bd. 75, S. 201, 1910.
5. **Best, F.:** Ueber die Dunkeladaptation der Netzhaut. — Gr. Arch. f. O., Bd. 76, S. 146, 1910.
6. — Untersuchung über die Dunkelanpassung des Auges mit Leuchtfarben. — Ztschr. f. Biol., Bd. 68, S. 111, 1917.
7. — Ueber Nachtblindheit. — Gr. Arch. f. O., Bd. 97, S. 168, 1918.
8. **Braunstein, E. P.:** Zur Lehre von kurzdauernden Lichtreizen der Netzhaut. — Ztschr. f. Sinnesphysiol. Bd. 55, S. 185, 1923.
9. **Brückner, A. u. Kirsch, R.:** Ueber den Einfluss des Adaptationszustandes auf die Empfindlichkeit des Auges f. galvan. Reize. Z. f. Sinnesphysiol. Bd. 47, S. 46, 1913.
10. **Charpentier:** La sensibilité lumineuse et l'adaptation rétinienne. Arch. d' ophth. Bd. VI., S. 196, 1886.
11. **Comberg, W.:** In Kurzes Handb. d. Ophthalmologie hrsg. v. F. Schieck u. A. Brückner. S. 196, Berlin 1932.
12. **Cook, T. W.:** Binokular and Monocular Relations in Foveal Dark Adaptation. — Psychol. Monogr. Bd. 45 no 3, S. 1, 1934.
13. **Dittler, R. u. Koike, I.:** Ueber die Adaptationsfähigkeit der Fovea centralis. — Z. f. Sinnesphysiol. Bd. 46, S. 166, 1912.
14. **Downey, J. W.:** Determination of Minimum Light Sense and Retinal Dark Adaptation etc. — Am. Journ. Ophth., Bd. 2, S. 13, 1919.
15. **Dymsic, L.:** Beobachtungen über Adaptation des Normalauges. — Ref. Zentrbl. f. O., Bd. 26, S. 101, 1932.
16. **Feilchenfeld, H. u. Loeser, L.:** Ueber die Beeinflussung einer Lichtempfindung durch eine andere gleichz. Lichtempf. — Gr. Arch. f. O., Bd. 60, S. 97, 1905.
17. **Fröhlich, F. W.:** Die Empfindungszeit. — Jena 1929.

18. **Fujita, T.:** Versuche über die Lichtempfindlichkeit der Netzhaut unter verschiedenen Umständen. — Z. f. Sinnesphysiol. Bd. 43, S. 243, 1909.
19. **Fujita, Hosoya u. Hashimoto:** Ueber die binokulare Helligkeitssummation d. Dunkeladaptation. — Ref. Zentrbl. f. O., Bd. 18, S. 855, 1927.
20. **Gasteiger, H.:** Untersuchungen über den Verlauf der Dunkeladaptation nach vorheriger Helladaptation an verschiedene spektrale Lichter. — Ztschr. f. Augenh., Bd. 66, S. 425, 1928.
21. **Grafe, E.:** Ueber eine Fehlerquelle bei der Untersuchung des Lichtsinns. — Münch. Med. Wschr., Bd. 67, S. 634, 1920.
22. **Graham, C. H.:** An Investigation of Binokular Summation I. Fovea. — Journ. Gen. Psychol., Bd. 3, S. 494, 1930.
23. — An Investigation of binokular Summation. II. Periphery. — Journ, Gen. Psych., Bd. 5, S. 311, 1931.
24. **Heinemann, A.:** Ueber die Dunkeladaptation mit bes. Rücksicht auf das Verhältnis von Moment- und Daueradaptation etc. — Z. f. Sinnesphysiol. Bd. 60, S. 1, 1930.
25. **Heinrichsdorff, P.:** Die Störung der Adaptation u. des Gesichtsfeldes bei Hemeralopie. — Gr. Arch. f. O., Bd. 60, S. 405, 1905.
26. **Henius, K.:** Die Abhängigkeit d. Lichtempfindlichkeit v. der Flächengrösse des Reizobjektes unter den Beding. des Tagessehens u. des Dämmerungssehens. — Z. f. Sinnesphysiol. Bd. 43, S. 99, 1909.
27. vom **Hofe, K.:** Untersuchungen über den Ablauf der Dunkeladaptation. — Dtsch. Ophth. Ges. Heidelberg, Bd. 46, S. 305, 1927.
28. **Horn:** Ueber Dunkeladaptation bei Augenhintergrundserkrankungen. — Diss. Tübingen, 1907.
29. **Kerr, J. G.:** An Experiment in Binocular Vision. — Transact. Brit. Ophth. Soc., Bd. 44, S. 183, 1924.
30. **Kohlrausch, A.:** in Handb. d. norm. u. path. Physiologie hrsg. v. Bethe u. Bergmann, Bd. XII/2, II, S. 1499, 1931.
31. **Laird, D.:** Studies Relating to the Problem of Binocular Summation. — Journ. Exper. Psych., Bd. 7, S. 276, 1924.
32. **Lippay, F.:** Ueber die Vergleichung von Helligkeiten bei binokularer u. monokularer Beobachtung. — Pfl. Arch. f. d. ges. Phys., Bd. 215, S. 768, 1927.
33. **Lohmann, W.:** Ueber Helladaptation. — Z. f. Sinnesphysiol. Bd. 41, S. 290, 1907.
34. — Untersuchungen über Adaptation u. ihre Bedeutung für die Erkrankungen des Augenhintergrundes. — Gr. Arch. f. O., Bd. 65, S. 365, 1907.
35. — Kritische Studien zur Lehre von der Adaptation. — Arch. f. Augenh., Bd. 83, S. 275, 1918.
36. **Matthey, G.:** Eine »Standardkurve« der Dunkeladaptation f. klin. Untersuchungen. — Gr. Arch. f. O., Bd. 129, S. 275, 1933.
37. **Messmer:** Ueber die Dunkeladaptation bei Hemeralopie. — Z. f. Sinnesphysiol. Bd. 42, S. 83, 1908.

38. **Möller, H. U.:** Untersuchungen über das Dunkelsehen. — Acta ophthalm., Bd. 7, S. 1, 1929.
39. **Müller, E.:** Die monokulare u. binokulare Reizschwelle der dunkeladapt. Augen. — Pfl. Arch. f. ges. Phys., Bd. 193, S. 29, 1921.
40. — Die monokulare u. binokulare Reizschwelle der dunkeladapt. Augen. — Pfl. Arch. f. ges. Phys., Bd. 194, S. 233, 1922.
41. **Müller, H. K.:** Ueber den Einfluss verschieden langer Vorbelichtungszeit auf die Dunkeladaptation. — Gr. Arch. f. O., Bd. 125, S. 624, 1931.
42. **Müller, H. K. u. Rintelen, F.:** Bestehen Beziehungen zw. dem hämolyt. Ikterus u. dem Vorkommen v. Pupillarmembranresten. — Kl. Mbl. f. Augenh., Bd. 95, S. 609, 1935.
43. **Nagel, W. A.:** in Handb. d. physiol. Optik, hrsg. v. Helmholtz, Bd. II, S. 270, 1912.
44. **Nagel, W. A. u. Schäfer, K. L.:** Ueber das Verhalten der Netzhautzapfen bei Dunkeladaptation. — Z. f. Psych. u. Phys. d. S., Bd. 34, S. 271, 1905.
45. **Noldt, F.:** Ueber Momentadaptation. — Z. f. Psych u. Phys. d. S., Bd. 97, S. 32, 1925. (Abt. I).
46. **Piper, H.:** Ueber Dunkeladaptation. — Z. f. Psych. u. Phys. d. S., Bd. 31, S. 161, 1903.
47. — Monoculare-binoculare Lichtempfindung. — Z. f. Psych. u. Phys. d. S., Bd. 32, S. 161, 1903.
48. — Ueber die Abhängigkeit des Reizwertes leuchtender Objekte v. ihren Flächen. — Z. f. Psych. u. Phys. d. S., Bd. 32, S. 98, 1903.
49. — Zur messenden Untersuchung und zur Theorie der Hell-Dunkeladaptation. — Kl. Mbl. f. Augenh., Bd. 45, S. 357, 1907.
50. **Reeves, P.:** Rate of Pupillary Dilatation and Contractation. — Psychol. Rev., Bd. 25, S. 330, 1918.
51. **Ricco, A.:** Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensita luminosa. — Annali d' Ottalm., Bd. VI, 3. S. 373, 1877.
52. **Roelofs, O. u. Zeeman, C.:** Zur Frage der binokularen Helligkeit u. der binokularen Schwellenwerte. — Gr. Arch. f. O., Bd. 88, S. 1, 1914.
53. — Beiträge zur binokularen Helligkeitsempfindung. — Gr. Arch. f. O., Bd. 92, S. 527, 1917.
54. **Rütgers, G. E.:** Zur Dunkelanpassung. — Kl. Mbl. f. Augenh., Bd. 71, S. 449, 1923.
55. **Shaad, D.:** Binokular Brightness Summation in Dark Adaptation. — Arch. of Ophth., Bd. 12, S. 705, 1934.
56. **Sherrington, C. S.:** On Binocular Flicker and Correlation of Activity of »Corresponding« Retinal Points. — Brit. Journ. Psychol., Bd. 1, S. 26, 1904.
57. **Stargardt, K.:** Ueber Störungen der Dunkeladaptation. — Gr. Arch. f. O., Bd. 73, S. 77, 1910.
58. — Ein Apparat für gleichmässige Helladaptation. — Kl. Mbl. f. Augenh., Bd. 78, S. 593, 1927.

59. **Streiff:** Sulla parte che prende l'uno l'altro occhio alla percezione di un medesimo quadrato bianco. — Intern. Monatsschr. f. Anat. u. Phys., Bd. 20, H. 7,9, Ref. Nagels Jahresber., S. 84, 1903.

60. **Tamura, S.:** Bestimmung des Dunkeladaptationsvermögens des Auges durch farbiges Licht. — Acta Soc. Ophth. Japan, Bd. 39, 1, S. 618, 1935.

61. **Tomlinson, J. H.:** Comparative Brightness Values of the Two Eyes and the Single Eye. — Transact. Ophth. Soc., Bd. 45, S. 547, 1925.

62. **Travis, R.:** Die Wirkung des Atropins u. Homatropins auf die Dunkeladaptation. — J. of. Exp. Psychol., Bd. 9 no 4, S. 348, 1926.

63. **Treitel, Th.:** Ueber das Verhalten der normalen Adaptation. — Gr. Arch. f. O., Bd. 33, II, S. 37, 1887.

64. **Tschermak, A.:** in Handb. d. norm. u. path. Physiologie, hrg. v. Bethe u. Bergmann, Bd. XII/2, II, S. 834, 1931.

65. **Tsutui, Y.:** Zur Frage über die binokulare Reizsummation bei d. Adaptation. — Acta Soc. Ophth. Japan, Bd. 38, 1, S. 745, 1934.

66. **Wessely, K.:** .Ueber Störungen der Adaptation. — Arch. f. Augenh., Bd. 81 (Erg.-Heft), S. 53, 1916.

67. **Wölfflin, E.:** Der Einfluss des Lebensalters auf den Lichtsinn bei dunkeladaptiertem Auge. — Gr. Arch. f. O., Bd. 61, S. 524, 1905.

68. — Ueber die Beeinflussung der Dunkeladaptation durch künstl. Mittel. — Gr. Arch. f. O., Bd. 65, S. 302, 1907.

69. — Ueber Dunkeladaptation von fovealen u. parafovealen Netzhautpartien. — Gr. Arch. f. O., Bd. 76, S. 464. 1910.